



Volume 34 Number 3 May - June 2015
ISSN : 1686-9664

Journal of
SCIENCE and TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
www.journal.msu.ac.th

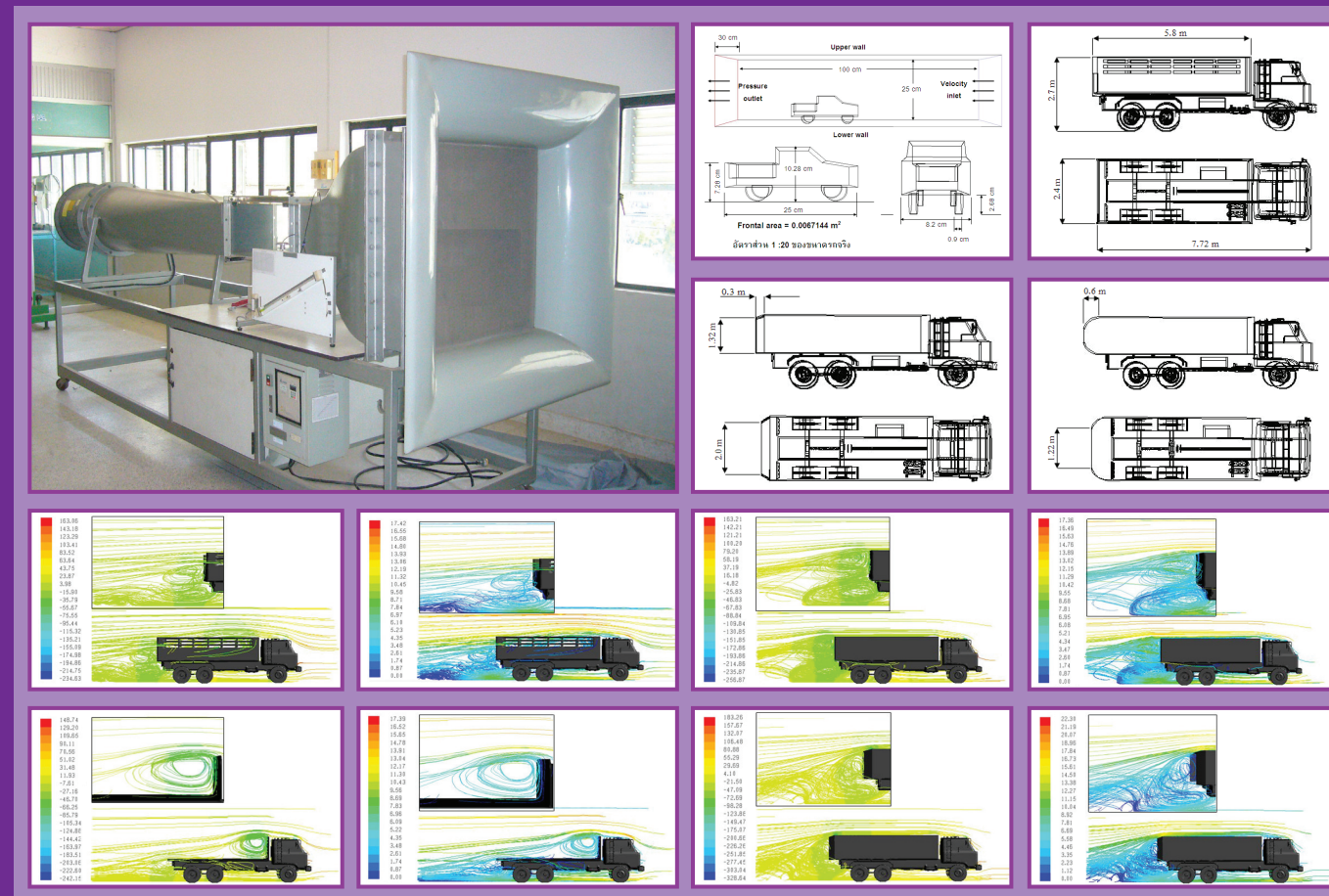
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2558



ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2558
ISSN : 1686-9664

วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
www.journal.msu.ac.th

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 34 Number 3 May - June 2015



วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754
โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ นพ.ดร.เรื่อน สมณะ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ ดร.วิสิทธิ์ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานประื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจาพร พิชัยณรงค์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมพรพรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล ธรรมเจริญ
มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณดา บุญยะสีพรพรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมฆากล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัววรรณ ศรีชัยกุล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา ปรสุพัฒนา
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
อาจารย์ ดร.วัชระจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพิชยา โชติวรรณกุล

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสิฎุฑี
นางสาวพัทตรีวิไล จันทร์ลอย

Aim and Scope:

The MSU Journal of Science and Technology is published quarterly and dedicated to the promotion and dissemination of scientific knowledge in the disciplines of Bioscience, Physical Science and Engineering Articles and research papers to be published in the Journal of Science and Technology Maharakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Support and Development,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr. Reon Somana
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich

Editorial Board

Professor Dr. Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supanee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr. Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Associate Professor Dr.Sampan Ritthidech
Maharakham University
Associate Professor Dr.Natchaporn Pichainanong
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr. Ampon Dhamacharoen
Burapha University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University

Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr.Pomtep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Buavaroon Srichaikul
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Supattra Porasuphatana
Khon Kaen University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Paul Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Pichaya Chowtivannakul

Assistant secretary

Jirarat Puseerit
Phakwilai Janloy

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามปีที่ 34 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน พฤษภาคม - มิถุนายน 2558 นำเสนอบทความวิจัยที่มีความหลากหลายทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี เทคโนโลยีสารสนเทศ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 12 เรื่อง ซึ่งล้วนแต่เป็นผลงานวิจัยที่ผ่านการพิจารณาและตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก มหาวิทยาลัย อาทิเช่น การผลิตไฮโดรเจนด้วยกลีเซอรอลดิบจากการผลิตไบโอดีเซลในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำโดย *Escherichia coli* HB41 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็ก ยีน HFE และโรคทางระบบประสาท การจำแนกใบหน้าด้วยเทคนิค Support Vector Machine เป็นต้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สำหรับการสืบค้นติดตามหาข้อมูลในการนำไปใช้และเข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพระดับสากล ผู้สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ของวารสารได้จากเว็บไซต์ www.journal.msu.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : อิทธิพลของอุปกรณ์ด้านอากาศพลศาสตร์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก

ภาพปก : ปรัชญา มุขดา. 2558, 255-262.

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

- ความหลากหลายทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae
ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยเทคนิค PCR-RFLP 210
**Genetic Diversity Earthworms Family Megascolecidae
in Northeastern Thailand using PCR-RFLP technique**
รวิกานต์ ขนานไพโร, บังอร แก้วโนนงิ้ว, ปิยมาศ นานอก โสภาลดาวัลย์,
พัฒนา สมนิยาม
Rawikarn Khanarnpai, Bungorn Thaewnon-ngiw, Piyamas Nanork Sopaladawan,
Pattana Somniam
- การผลิตไฮโดรเจนด้วยกลีเซอรอลดิบจากการผลิตไบโอดีเซลในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ
โดย *Escherichia coli* HB41 221
**Hydrogen Production from Crude Glycerol from Biodiesel Production in Repeated
Semi-continuous Process by *Escherichia coli* HB41**
ฐิติญาภรณ์ เนื่องมี, ฑาลิศา ยูวอมรพิทักษ์, กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา
Thitiyaporn Nueangmee, Thalisa Yuwa-amornpitak, Kannika Chokietwattana
- การให้ชุดกิจกรรมความรู้ทางสุขภาพโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน เพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยง
ต่อภาวะน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในชุมชนชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 229
**Community-Based Health Education Intervention to Control Glycemia Risk Factors
in Type 2 Diabetic Patients in Rural Districts of the Northeast Region**
จตุพร เหลืองอุบล
Jatuporn Luang-ubol
- การพัฒนากระบวนการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอดส์
โรงพยาบาลปรังค์ภู อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ 238
**Development of Care System to Enhance the Quality of Life of AIDS Patients at
Prangku Hospital, Prangku District, Sisaket Province**
ณัฐชา ครองยุทธ, จีระศักดิ์ เจริญพันธ์, ประวีร์ อัมพันธ์
Nutchaya Krongyut, Cheerasak Chareonpun, Pravi Amphant

สารบัญ

ความรุนแรงที่เกิดจากการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในกลุ่มวัยรุ่นหญิง: การศึกษาแบบภาคตัดขวาง ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง	247
Alcohol Drinking and Violence-Related Behaviors among Female Youths: A point Cross-Sectional Study	
วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์ Wisit Chaveepojnkamjorn, Natchaporn Pichainarong	
อิทธิพลของอุปกรณ์ด้านอากาศพลศาสตร์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก	255
The Influence of Aerodynamics Devices on Fuel Consumption of Truck	
ปรัชญา มุขดา Prachya Mukda	
การเปรียบเทียบเทคนิคเหมืองข้อมูลในการจำแนกใบหน้า	263
Comparison of Data Mining Techniques In Face Recognition	
ชลิตา เจริญเนตร, จารี ทองคำ, สิทธิชัย บุษหมั่น Chalita Chareonnet, Jaree Thongkam, Sittichai Budsmun	
การเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายสำหรับการบันทึกข้อมูลล็อกที่ถูกต้อง	270
The Enhancement of Egress NAC Systems for Valid Logging	
อรรถพล สุวรรณษา, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์ Atthapol Suwannasa, Somnuk Puangpronpitag	
บทความวิชาการ	
ความสัมพันธ์ระหว่าง เหล็ก ยีน HFE และโรคทางระบบประสาท	277
The Association between Iron HFE Gene and Neurodegenerative Diseases	
นุชนาถ ไหมหรือ Nootchanat Mairuae	
บทบาทของเฟอร์ริตินในมะเร็ง	286
The Role of Ferritin in Cancer	
เบญจพร บุราณรัตน์ Benjaporn Buranrat	

สารบัญ

อาหารฟังก์ชันสำหรับนักกีฬา	294
Function Food for Athletes	
ปวีณา จันดาชาติ, ณภัทสรวรรณ ธนาพงษ์อนันท์	
Paveena Jandachat, Napatsawan Thanaphonganan	
การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการเปรียบเทียบพหุคูณในงานวิจัยทางสาธารณสุข	304
กรณีตัวอย่างการป้องกันโรคไข้เลือดออก	
One-Way ANOVA and Multiple Comparison in Public Health Research :	
A Case Study of Hemorrhagic Fever Protection	
จารุวรรณ วิโรจน์	
Jarawan Viroj	

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยเทคนิค PCR-RFLP

Genetic Diversity Earthworms Family Megascolecidae in Northeastern Thailand using PCR-RFLP Technique

รวิกานต์ ขนานไพโร,¹ บังอร แถวโนนงิว,² ปิยามาส นานอก โสภาลดาวัลย์,² พัฒนา สมนิยาม³

Rawikarn Khanarnpai,¹ Bungorn Thaewnon-ngiw,² Piyamas Nanork Sopaladawan,²

Pattana Somniam³

Received: 15 July 2014 ; Accepted: 20 November 2014

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อจัดจำแนกไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae จากพื้นที่ 7 จังหวัด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ นครพนม บัรรัมย์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ สกลนคร และหนองบัวลำภู นำตัวอย่างทั้งหมด 275 ตัว มาจัดจำแนกโดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกและภายใน พบไส้เดือนดินทั้งหมด 12 ชนิด คือ *Metaphire peguana*, *M. bahli*, *M. houlleti*, *M. bipora*, *M. anomala*, *M. planata*, *M. posthuma*, *M. sp 1*, *M. sp 2*, *M. sp 3*, *Amyntas seiboldi* และอีก 1 ชนิดไม่สามารถระบุชนิดได้ ส่วนการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินโดยใช้เทคนิค PCR-RFLP โดยสกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลำตัวของไส้เดือนดินแล้วนำมาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิคพีซีอาร์โดยใช้ไพรเมอร์ COI ได้ผลผลิตพีซีอาร์ขนาดเท่ากับ 710 bp จากนั้นนำไปตัดด้วยเอนไซม์จำเพาะ 3 ชนิด คือ *Dde I*, *Alu I* และ *Hinf I* พบ Composite haplotypes ทั้งหมด 13 รูปแบบ คือ AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FJF, GFG, HGH, IHI, JII, KJI, LJI และ MJI แล้วนำ Restriction pattern มาสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NTSYSpc version 2.10p พบว่า สามารถจัดจำแนกไส้เดือนดินได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย *Dichogaster bolau* กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย *Metaphire peguana* *M. bahli* *M. houlleti* *M. bipora* *M. anomala* *M. planata* *M. posthuma* *M. sp. 1* *M. sp. 2* *M. sp. 3* *Amyntas seiboldi* และ unknown ทั้ง 2 กลุ่มมีค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนเท่ากับ 0.66

คำสำคัญ: ไส้เดือนดิน ความหลากหลายทางพันธุกรรม PCR-RFLP Megascolecidae

Abstract

The objectives of this study were to identify the taxonomic identification of earthworm family Megascolecidae Samples were collected from 7 provinces (Kalasin, Nakhon Phanom, Buriram Roi Et, Sisaket, Sakon Nakhon and Nongbua Lamphu) in northeastern Thailand. The external and internal morphology of 275 specimens of family Megascolecidae were classified as 12 species including *Metaphire peguana*, *M. bahli*, *M. houlleti*, *M. bipora*, *M. anomala*, *M. planata*, *M. posthuma*, *M. sp 1*, *M. sp 2*, *M. sp 3*, *Amyntas seiboldi* and unknown species. The genetic diversity was determined using PCR-RFLP technique restriction analysis of Cytochrome oxidase. Total DNA was extracted from the muscular tissue of each individual earthworm, and then amplified with COI primers as 710 bp PCR products. After

¹ นิสิตปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ อาจารย์, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹ Master degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. ³ Lecturer Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Mueang District, Uttaradit 53000, Thailand.

* Corresponding author; Bungorn Thaewnon-ngiw, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham, 44150, Thailand, E-mail : ttbungorn@hotmail.com

that the PCR products were digested with 3 restriction enzyme (*Dde* I, *Alu* I, *Hinf* I). The results of these samples showed 13 composite haplotypes as AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FJF, GFG, HGH, IHI, JII, KJI, LJI and MJI. The UPGMA dendrogram of restriction pattern was analyzed using NTSYSpc version 2.10p. The earthworms were divided into 2 groups as group 1 consisting of *Dichogaster bolau* and group 2 consisted of *Metaphire peguana*, *M. bahli*, *M. houletti*, *M. bipora*, *M. anomala*, *M. planata*, *M. posthuma*, *M. sp. 1*, *M. sp. 2*, *M. sp. 3*, *Amyntas seiboldi* and unknown species. The similarity coefficient between 2 groups was 0.66.

Keywords: earthworm, genetic diversity, PCR-RFLP, Megascolecidae

บทนำ

ไส้เดือนดิน (earthworm) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อยู่ในไฟลัมแอนเนลิดา (Phylum annelida) คลาสโอลิโกซีตา (Class Oligochaeta) มีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกระบอก ด้านท้องแบนเล็กน้อย และมีสีซีดกว่าด้านหลัง ลำตัวมีปล้องขนาดเท่ากันอาศัยอยู่ในดินหรือมูลสัตว์ ปัจจุบันไส้เดือนดินมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางทั่วภูมิภาคเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อไส้เดือนดินจึงทำให้มีการแพร่กระจายอย่างมาก นอกจากนี้ไส้เดือนดินยังมีบทบาทที่สำคัญในระบบนิเวศอย่างมากซึ่งเป็นสัตว์ที่สามารถช่วยย่อยสลายขยะอินทรีย์ ซากพืช ซากสัตว์ในดิน และยังมี ความสำคัญในการช่วยผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณค่าต่อพืช อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์อีกด้วย¹ ไส้เดือนดินถูกจัดจำแนกออกเป็น 21 วงศ์ และมีมากกว่า 8,000 สายพันธุ์² ซึ่งในการจัดจำแนกสามารถสังเกตได้จาก ขนาดและความยาวของลำตัว สีหรือสีแถบขางลำตัว และแหล่งที่อยู่อาศัย แต่ไส้เดือนดินนั้นสามารถมีสี หรือขนาดความยาวของลำตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความลึกของชั้นดิน และสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ไส้เดือนดินอาศัยอยู่³ ไส้เดือนดินได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากโดยเฉพาะในการนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นผู้ย่อยสลายขยะอินทรีย์ตามบ้านเรือน ขยะเทศบาล หรือขยะโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และนำมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์จึงทำให้ประชาชนทำการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินไปนานๆ อาจทำให้ไส้เดือนดินมีลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้สับสนเกี่ยวกับสายพันธุ์ของไส้เดือนดิน⁴ งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae เนื่องจากพบการกระจายตัวมากที่สุด การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์แม่พันธุ์ของไส้เดือนดินในปัจจุบันนิยมใช้ลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกซึ่งลักษณะภายนอกสามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อให้สามารถจัดจำแนกได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิคต่างๆ ในการหาความสัมพันธ์และการจัดกลุ่มของสิ่งมีชีวิต โดยอาศัยความแตกต่างในระดับยีนหรือดีเอ็นเอได้แก่ Restriction

Fragment Length-Polymorphism (RFLP) ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprinting) และ Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) เทคนิคเหล่านี้ทำให้เห็นความแตกต่างในระดับดีเอ็นเอ ซึ่งช่วยในการบ่งชี้และจัดจำแนกพันธุ์ได้ ชั้นดีเอ็นเอถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนหรือเครื่องหมายระดับโมเลกุล (Molecular marker) ของลักษณะใดลักษณะหนึ่งโดยใช้ดีเอ็นเอที่เกิดขึ้น⁵ การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินในประเทศไทยยังมีการศึกษาน้อยมาก และยังไม่มียข้อมูลทางพันธุศาสตร์ประชากรของไส้เดือนดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของไส้เดือนดิน โดยใช้เทคนิค PCR-RFLP เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสืบค้นเครื่องหมายทางพันธุกรรมเพื่อใช้ในการแยกไส้เดือนดิน เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว ไม่ยุ่งยาก ไม่ใช้สารกัมมันตรังสี ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สกัดดีเอ็นเอเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอที่จะศึกษาได้และข้อมูลก็น่าเชื่อถือมากกว่าเทคนิค PCR-RAPD เพราะเทคนิค PCR-RAPD ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่าง homozygotes และ heterozygotes และมีความไวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และเพื่อเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและประชาชนในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินในเชิงพาณิชย์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้เทคนิค PCR-RFLP

วิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่างไส้เดือนดิน

เก็บตัวอย่างไส้เดือนดินโดยการขุด จากนาข้าว สวน ป่า และเขา ในพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่จังหวัดกาฬสินธุ์ นครพนม บุกรัมย์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ สกลนคร และหนองบัวลำภูของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอก และ ลักษณะสัณฐานวิทยาภายใน

นำไส้เดือนดินที่เก็บได้มาล้างทำความสะอาดแล้วนำไปดองด้วย ethanol 95% จากนั้นนำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอก ได้แก่ ลักษณะสี ของลำตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำตัว และความยาวของลำตัว ส่วนลักษณะสัณฐานวิทยาภายใน ศึกษาโดยการผ่าตามยาวทางด้านบนของลำตัวแล้วดูอวัยวะภายในของไส้เดือนดิน ตามวิธีการของ Gates⁶ และ Sims and Easton⁷ ได้แก่ ลักษณะของสีลำตัว ความยาว จำนวนปล้อง ช่องเปิดเพศผู้ ช่องเปิดเพศเมีย ไคลเทลลัม ต่อมลูกหมาก ซีกัม เป็นต้น

การสกัดดีเอ็นเอ

สกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อของลำตัวไส้เดือนดินโดยวิธี CTAB Phenol chloroform Proteinase K ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Thawnon-ngiw⁸ โดยตัดกล้ามเนื้อบริเวณผิวหนังปริมาตร 0.5 cm³ ใส่ใน Centrifuge tube นำไปเติม CTAB buffer 500 µl (CTAB ต้องนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีก่อนนำมาใช้) เติม Proteinase K (20 mg/ml) 10-12 µl นำไปบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเติม Phenol: Chloroform: Isoamyl alcohol (25: 24: 1) ปริมาตร 300 µl กลับหลอดไปมาให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตูดเอาของเหลวที่แยกชั้นอยู่ด้านบนใส่หลอด Centrifuge tube หลอดใหม่ (โดยใช้ Tip ปลายตัด) จากนั้นก็เติม Chloroform: Isoamyl alcohol (24: 1) ปริมาตร 300 µl เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตูดเอาของเหลวที่แยกชั้นอยู่ด้านบนใส่ในหลอด Centrifuge tube หลอดใหม่ (โดยใช้ Tip ปลายตัด) ทำซ้ำอีก 1 รอบ เติม Absolute ethanol (ที่เย็นจัด) 2 เท่าของปริมาตรรวม ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ดีเอ็นเอตกตะกอน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตูดหรือเทส่วนบนทิ้งแล้วล้างตะกอนดีเอ็นเอโดยเติมเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ 500 µl แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตูดส่วนบนทิ้งคว่ำลงบนกระดาษทิชชูประมาณ 30 นาที แล้วหยางหลอดขึ้นเพื่อให้เอทานอลระเหยออกให้หมด จากนั้นจึงละลายดีเอ็นเอด้วย TE buffer 100 µl (10 mM Tris-HCL, pH 7.4 และ 1 mM EDTA) นำ DNA solution ไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอโดยวิธี electrophoresis

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอตำแหน่งยีน COI โดยเทคนิค PCR-RFLP

ทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของไส้เดือนดินด้วยกระบวนการ Polymerase Chain Reaction โดยใช้ไพรเมอร์ COI (F) 5' TCA-ACC-AAC-CAC-AAA-GAC-ATT-GGC-AC 3' และ COI (R) 5' TAG-ACT-TCT-GGG-TGG-CCA-AAG-AAT-CA 3' Ward et al.⁹ โดยทำปฏิกิริยาในปริมาตร 25 µl ซึ่งประกอบด้วย dH₂O, 10X buffer (1X), 50mM MgCl₂ (2mM), 10mM dNTP (0.1mM), Taq DNA polymerase, COI [F] และ COI [R] และ DNA sample (5 mg/µl) ทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยใช้อุณหภูมิ Pre denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที Denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที 45 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที และ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 10 วินาที Annealing ที่ 54 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที และ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 10 วินาที Extension ที่ 72 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลผลิตของปฏิกิริยา PCR มาทำการตรวจสอบขนาดโดยเทคนิค Agarose gel Electrophoresis โดยใช้ Agarose gel ที่มีความเข้มข้น 1.5% ด้วยกระแสไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 40 นาที แล้วย้อมด้วย ethidium bromide และนำเจลไปตรวจสอบภายใต้แสง UV เพื่อตรวจสอบผลผลิตที่ได้ จากนั้นนำผลผลิตที่ซีอาร์ มาตัดคัดเลือกลูกเอาเอ็นไซม์ตัดจำเพาะทั้งหมด 10 เอนไซม์ โดยมีส่วนผสมในการทำปฏิกิริยา ดังนี้ dH₂O, 10X buffer, 10X BSA, 40 mM Spermidine และ restriction enzyme เขย่าให้เข้ากัน เติม PCR จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ผลการตัดด้วยเอ็นไซม์ตัดจำเพาะด้วยเทคนิค agarose gel electrophoresis ใช้ agarose gel ที่มีความเข้มข้น 2% และกระแสไฟฟ้า 80 โวลต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปย้อมด้วย ethidium bromide (10 µl/ml) นาน 10 นาที ล้างสีส่วนที่เกินออกด้วยน้ำกลั่น 5 นาที แล้วนำไปตรวจดูใต้แสง UV และบันทึกภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำรูปแบบของโมเลกุลดีเอ็นเอที่ได้จากการตัดด้วยเอ็นไซม์ตัดจำเพาะ 3 เอนไซม์ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางพันธุศาสตร์โดยโปรแกรม NTSYSpc version 2.10p เพื่อสร้างเป็น dendrogram โดยใช้ไส้เดือนดินวงศ์ Octochaetidae (*Dichogaster bolau*) เป็น outgroup

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอก
และภายในของไส้เดือนดิน

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกและสัณฐานวิทยาภายใน เพื่อจัดจำแนกชนิดของไส้เดือนดินจากพื้นที่ 7 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าสามารถจัดจำแนกได้ทั้งหมด 2 สกุล คือ *Metaphire* และ *Amyntas* ซึ่งมี 8 ชนิดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ *Metaphire peguana*, *M. bahli*, *M. houletti*, *M. bipora*, *M. anomala*, *M. planata*, *M. posthuma* และ *A. seiboldi* ส่วนอีก 3 ชนิด จัดจำแนกได้ในระดับสกุลแต่ในระดับชนิดยังไม่สามารถระบุได้จึงจำแนกเป็น *M. sp.1*, *M. sp.2*, *M. sp.3* และอีก 1 ชนิด มีลักษณะที่แตกต่างจากระดับสกุล *Metaphire* และ *Amyntas* โดยให้เป็น unknown (Table 1)

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางพันธุกรรม
ของไส้เดือนดินโดยใช้เทคนิค PCR-RFLP

จากการนำโมเลกุลดีเอ็นเอของไส้เดือนดินทั้งหมด 12 ชนิด ที่ได้รับการเพิ่มปริมาณด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction โดยใช้ไพรเมอร์ COI (F) และ COI (R) ซึ่งพบว่า PCR product ของไส้เดือนดินทั้งหมดมีขนาดเท่ากับ 710 bp เมื่อนำ PCR product มาคัดเลือกหาเอนไซม์ตัดจำเพาะพบว่า มี 3 เอนไซม์ คือ *Dde I*, *Alu I* และ *Hinf I* เป็นเอนไซม์ตัดจำเพาะที่มีความเหมาะสมสามารถให้ผลผลิตพีซีอาร์ขนาด 710 bp ของไส้เดือนดิน 12 ชนิด และไส้เดือนดินตัวเปรียบเทียบได้โดยพบว่า *Dde I* สามารถตัดโมเลกุลดีเอ็นเอ ซึ่งได้ single haplotype 13 รูปแบบ (Figure 1 และ Table 2) *Alu I* สามารถตัดโมเลกุลดีเอ็นเอ ซึ่งได้ single haplotype 10 รูปแบบ (Figure 2 และ Table 2) และ *Hinf I* สามารถตัดโมเลกุลดีเอ็นเอ และผลของลักษณะ composite haplotype พบได้ทั้งหมด 13 รูปแบบ ได้แก่ AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FJF, GFG, HGH, IHI, JII, KJI, LJI และ MJI

ขนาด 710 bp ซึ่ง พบว่าได้ single haplotype 8 รูปแบบ (Figure3 และ Table 2)

Table 1 Morphological characteristics comparison of family Megascolecidae in northeastern Thailand

Characters Species	Bl	Ns	Sc pore	Sc	Gm	Cs	Fp	Mp	Pg	Sv
<i>M. peguana</i>	115	107-116	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	17/18-18/19	14-16	14	18	17-20	11-12
<i>M. bahli</i>	104	103-110	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	17/18-18/19	14-16	14	18	17-20	11-12
<i>M. houletti</i>	125	101-108	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	absent	14-16	14	18	17-20	11-12
<i>M. bipora</i>	135	155-158	5/6/7/8/9	4 pair 5/6-8/9	18/19-19/20	14-16	14	18	17-21	11-12
<i>M. anomala</i>	140	135-141	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	absent	14-16	14	18	absent	11-12
<i>M. planata</i>	155	163-170	6/7/8	2 pair 7/8-8/9	absent	14-16	14	18	17-22	11-12
<i>M. posthuma</i>	110	116-120	5/6/7/8/9	4 pair 5/6-8/9	absent	14-16	14	18	18-20	11-12
<i>M. sp 1</i>	240	165-173	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	18-20	14-16	14	18	15-21	11-12
<i>M. sp 2</i>	125	113-116	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	17-20	14-16	14	18	17-20	11-12
<i>M. sp 3</i>	230	156-163	5/6/7/8	3 pair 6/7-8/9	18-20	14-16	14	18	16-22	11-12
<i>A. seiboldi</i>	160	116-120	6/7/8	2 pair 7/8-8/9	absent	14-16	14	18	17-22	11-12
unknown	180	122-135	absent	3 pair 6/7-8/9	absent	14-16	14	18	18-22	11-12

* Bl = Body length (mm), Ns = Number of segment, Sc pore = Spermathecal pore, Sc = Spermathecae, GM = Genital marking, Cs = Clitellum segment, Fp = Female pore, Mp = Male pore, Pg = Prostate gland, Sv = Seminal vesicle

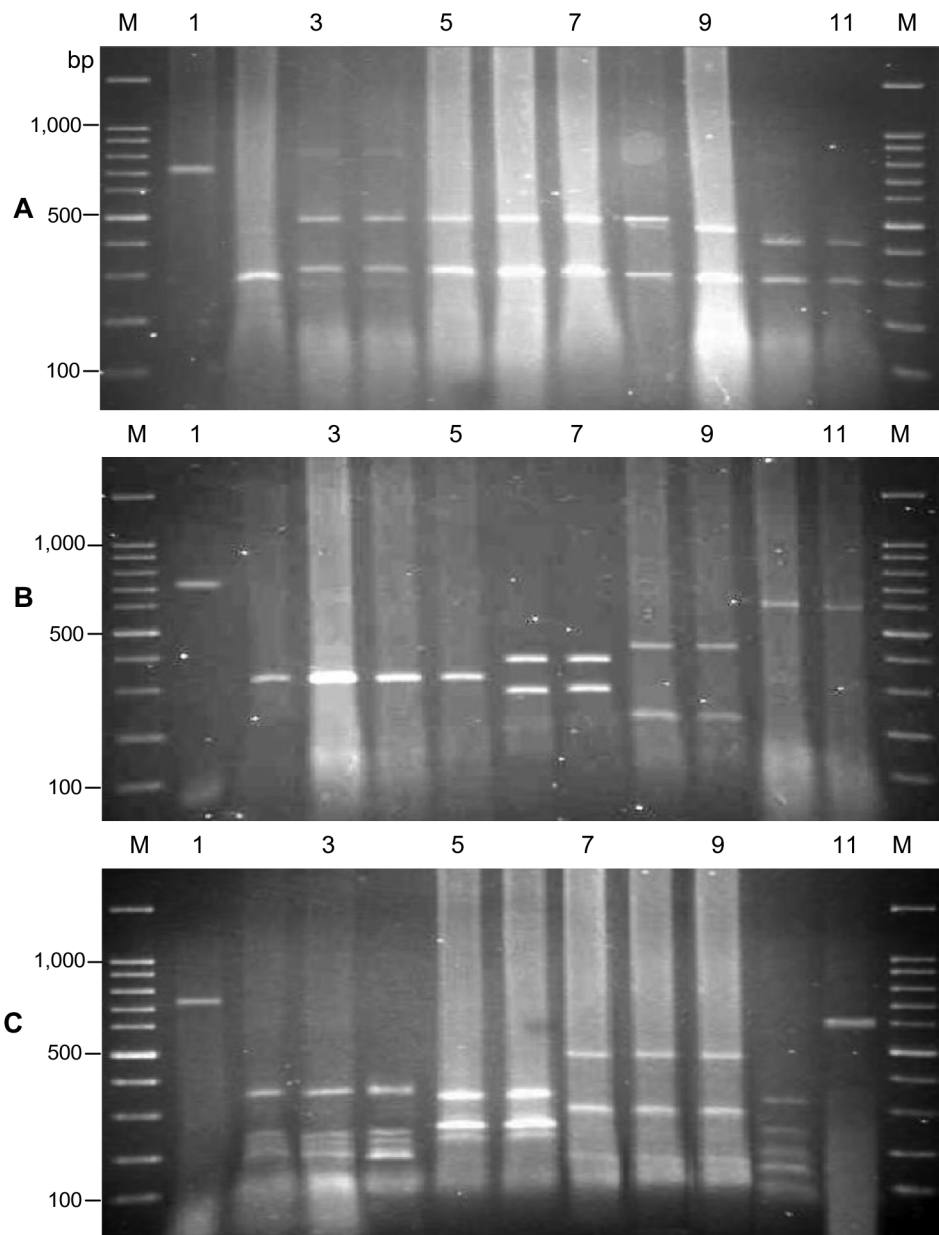


Figure 1 RFLP patterns by digestion of *Dde* I restriction enzyme.

- A.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (*M. bahli*), Lane 2 = outgroup, Lane 3-8 = *Metaphire peguana*, Lane 9 = *M. bahli*, Lane 10-11 = *M. anomala*
- B.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-5 = *M. planata*, Lane 6-7 = *Amynthes seiboldi*, Lane 8-9 = *M. posthuma*, Lane 10-11 = unknown
- C.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-4 = *M. houletti*, Lane 5-6 = *M. sp1*, Lane 7-9 = *M. sp2*, Lane 10 = *M. sp3*, Lane 11 = *M. bipora*

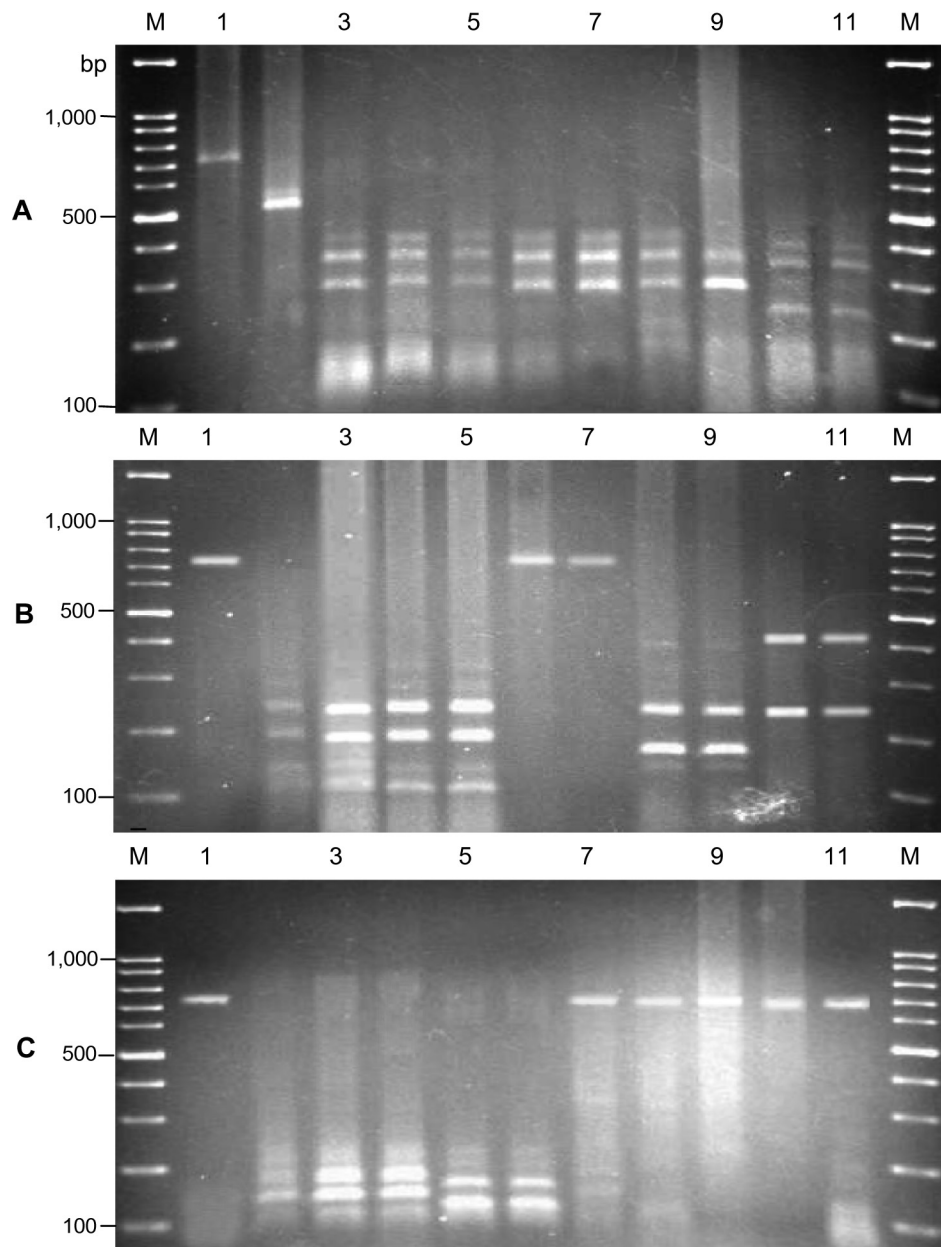


Figure 2 RFLP patterns by digestion of *Alu* I restriction enzyme.

- A.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (*M. bahli*), Lane 2 = outgroup, Lane 3-8 = *Metaphire peguana*, Lane 9 = *M. bahli*, Lane 10-11 = *M. anomala*
- B.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-5 = *M. planata*, Lane 6-7 = *Amyntas seiboldi*, Lane 8-9 = *M. posthuma*, Lane 10-11 = unknown
- C.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-4 = *M. houletti*, Lane 5-6 = *M. sp1*, Lane 7-9 = *M. sp2*, Lane 10 = *M. sp3*, Lane 11 = *M. bipora*

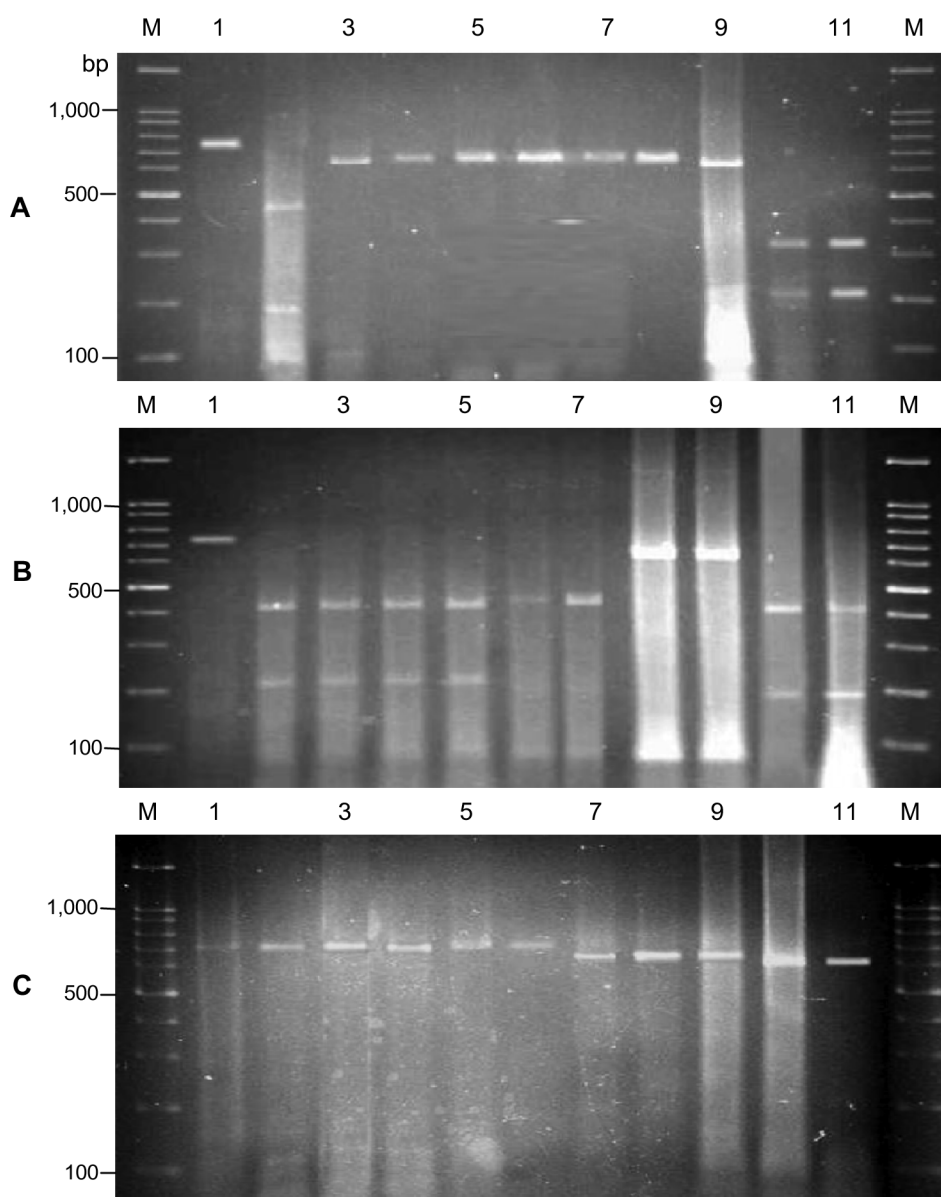


Figure 3 RFLP patterns by digestion of *Hinf* I restriction enzyme.

- A.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (*M. bahli*), Lane 2 = outgroup, Lane 3-8 = *Metaphire peguana*, Lane 9 = *M. bahli*, Lane 10-11 = *M. anomala*
- B.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-5 = *M. planata*, Lane 6-7 = *Amyntas seiboldi*, Lane 8-9 = *M. posthuma*, Lane 10-11 = unknown
- C.** Lane M = 100bp Ladder marker, Lane 1 = uncut (PCR product), Lane 2-4 = *M. houletti*, Lane 5-6 = *M. sp1*, Lane 7-9 = *M. sp2*, Lane 10 = *M. sp3*, Lane 11 = *M. bipora*

Table 2 Restriction fragment patterns resulted from digestion of COI

Enzyme	Pattern observed (bp)	Species
<i>Dde</i> I	A: 300	<i>Dichogaster bolau</i> (outgroup)
	B: 490, 310	<i>Metaphire peguana</i>
	C: 480, 300	<i>M. bahli</i>
	D: 410, 300	<i>M. anomala</i>
	E: 350, 350	<i>M. planata</i>
	F: 400, 300	<i>Amyntas seiboldi</i>
	G: 460, 250	<i>M. posthuma</i>
	H: 590	unknown
	I: 370, 260, 240, 210	<i>M. houletti</i>
	J: 350, 280, 250	<i>M. sp1</i>
	K: 500, 320, 200, 110	<i>M. sp2</i>
	L: 340, 250, 200, 150, 100	<i>M. sp3</i>
	M: 600	<i>M. bipora</i>
<i>Alu</i> I	A: 550	<i>Dichogaster bolau</i> (outgroup)
	B: 440, 390, 300	<i>M. peguana</i>
	C: 380, 300	<i>M. bahli</i>
	D: 410, 370, 250	<i>M. anomala</i>
	E: 250, 200, 140, 110	<i>M. planata</i>
	F: 230, 180	<i>M. posthuma</i>
	G: 400, 220	unknown
	H: 220, 190, 160, 120	<i>M. houletti</i>
	I: 230, 210, 180, 150	<i>M. sp1</i>
	J: 710	<i>M. sp2, M. sp3, M. bipora, Amyntas seiboldi</i>
<i>Hinf</i> I	A: 460, 180	<i>Dichogaster bolau</i> (outgroup)
	B: 650	<i>M. peguana</i>
	C: 630, 220	<i>M. bahli</i>
	D: 340, 220	<i>M. anomala</i>
	E: 430, 230	<i>M. planata</i>
	F: 450	<i>Amyntas seiboldi</i>
	G: 680	<i>M. posthuma</i>
	H: 400, 190	unknown
	I: 710	<i>M. houletti, M. sp1, M. sp2, M. sp3, M. bipora</i>

ผลการวิเคราะห์รูปแบบโมเลกุลดีเอ็นเอภายหลังจากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะด้วย NTSYSpc version 2.10p

เมื่อนำเอารูปแบบจากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Dde I*, *Alu I* และ *Hinf I* มาวิเคราะห์ความแปรผันทางพันธุกรรม พบว่าสามารถแบ่งความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินทั้ง 12 ชนิด ออกเป็น 2 จากทุกพื้นที่ที่มีความเหมือนทางพันธุกรรม และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนเท่ากับ 1 และยังพบว่า unknown ที่แยกออกจากชนิดอื่นอย่าง

ชัดเจนแต่มีความคล้ายคลึงทางพันธุกรรมเหมือน *M. bipora* และ *A. seiboldi* โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนเท่ากับ 0.89 ส่วน *M. sp1*, *M. sp2*, *M. sp3* แยกออกจากกันอย่างชัดเจน แต่ *M. sp2* มีความสัมพันธ์ทางกลุ่มใหญ่ โดยไส้เดือนดินวงศ์ Octochaetidae (*Dichogaster bolau*) ถูกแยกออกจากไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae อย่างชัดเจนและพบว่า *M. peguana* พันธุกรรมกับ *M. planata* โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนเท่ากับ 0.84 (Figure 4)

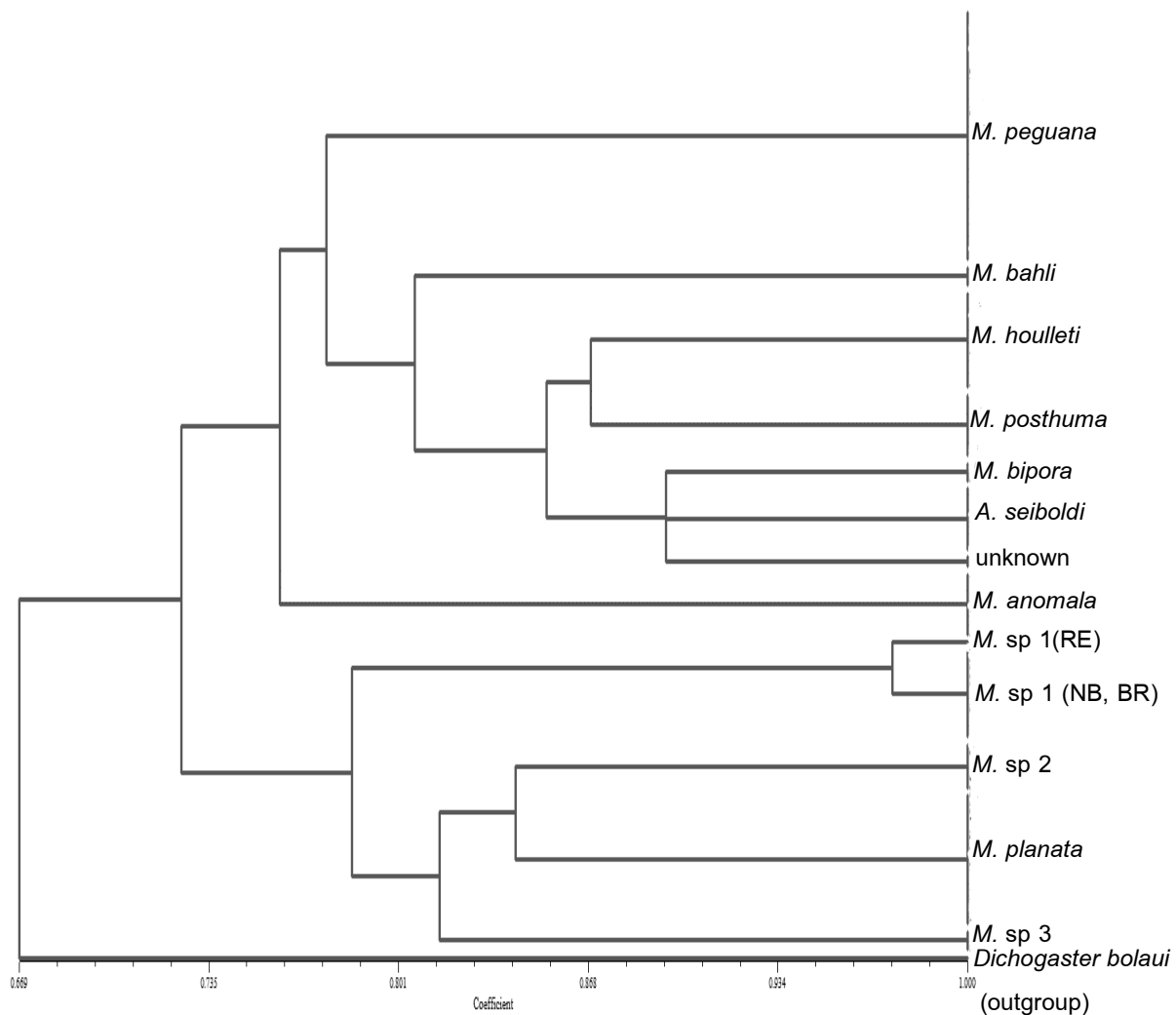


Figure 4 Dendrogram of Family Megascolecidae and outgroup constructed from restriction analysis of COI [F] and COI [R] primer

* RE = Roi Et, NB = Nongbua Lamphu, BR = Buri Ram

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae เนื่องจากไส้เดือนดินวงศ์นี้พบการกระจายตัวมากที่สุดในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษาลักษณะ สัณฐานวิทยาภายนอกและภายใน จากพื้นที่ 7 จังหวัด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมตัวอย่างทั้งหมด 275 ตัวอย่าง พบว่าสามารถจัดจำแนกในระดับสกุลได้ 2 สกุล คือ *Amyntas* และ *Metaphire* จากนั้นนำมาจัดจำแนกในระดับชนิดสามารถจัดจำแนกได้ 8 ชนิด ได้แก่ *Metaphire peguana*, *M. bahli*, *M. houletti*, *M. bipora*, *M. anomala*, *M. planata*, *M. posthuma* และ *Amyntas seiboldi* นอกจากนี้ยังพบสกุล *Metaphire* อีก 3 ชนิดที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ คือ *M. sp 1*, *M. sp 2* และ *M. sp 3* โดยทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันบริเวณช่องเปิดเพศผู้ นอกจากนี้ยังพบไส้เดือนดินอีก 1 ชนิด ที่ไม่สามารถจัดจำแนกในระดับสกุล และชนิดได้ (unknown) ซึ่งเป็นไส้เดือนดินที่แตกต่างจากไส้เดือนดินทั้ง 11 ชนิด ตามที่กล่าวมาซึ่งยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน จากงานวิจัยในครั้งนี้พบไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae ทั้งหมด 12 ชนิด ซึ่งน้อยกว่าการรายงานของ blackmore¹⁰ ที่พบว่าไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae ที่พบในประเทศไทยมีทั้งหมด 23 ชนิด เนื่องมาจากการกระจายตัวของไส้เดือนดินขึ้นอยู่กับความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ผลของรูปแบบการปลูกพืช ผลของการใช้ปุ๋ย ประเภทของดิน และแหล่งอาหาร⁴

จากการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมพบว่าไพรเมอร์ COI สามารถเพิ่มปริมาณของดีเอ็นเอของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae และไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับโดยมีขนาดเท่ากัน คือ 710 bp ซึ่งในงานวิจัยของ Loongyai *et al.*¹¹ ได้จัดจำแนกไส้เดือนดิน 4 ชนิด ซึ่งเป็นชนิด *Pheretima peguana* *Eudrilus eugeniae* *Perionyx excavatus* และ *P. excavates* โดยใช้ไพรเมอร์ COI ซึ่งพบว่าขนาดของผลผลิตพีซีอาร์มีขนาดเท่ากับ 657 bp ซึ่งต่างจากในงานวิจัยนี้ที่มีขนาด 710 bp

เมื่อนำผลผลิตพีซีอาร์ของไส้เดือนดินมาทำการคัดเลือกหาเอนไซม์ตัดจำเพาะจากทั้งหมด 13 ชนิด พบว่าเอนไซม์ที่เหมาะสมในการตัดโมเลกุลดีเอ็นเอของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae และไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับมี 3 ชนิด คือ *Dde I*, *Alu I* และ *Hinf I* พบว่าเอนไซม์ 3 ชนิดนี้สามารถแบ่งแยกความแตกต่างของแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน และได้รูปแบบการตัดที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำมาสร้าง Composite haplotype พบทั้งหมด 13 รูปแบบ ได้แก่ AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FJF, GFG, HGH, IHI, JII, KJI, LJI และ MJI ซึ่งพบว่า Composite haplotype สามารถแยกชนิดที่มีลักษณะ

ทางพันธุกรรมแตกต่างจากกลุ่มอื่นได้อย่างชัดเจน เช่น รูปแบบ AAA ได้แก่ *Dichogaster bolau* (outgroup) รูปแบบ BBB ได้แก่ *M. peguana* รูปแบบ CCC ได้แก่ *M. bahli* รูปแบบ DDD ได้แก่ *M. anomala* รูปแบบ EEE ได้แก่ *M. planata* รูปแบบ FJF ได้แก่ *A. seiboldi* รูปแบบ GFG ได้แก่ *M. posthuma* รูปแบบ HGH ได้แก่ unknown รูปแบบ IHI ได้แก่ *M. houletti* รูปแบบ JII ได้แก่ *M. sp1* รูปแบบ KJI ได้แก่ *M. sp2* รูปแบบ LJI ได้แก่ *M. sp3* และรูปแบบ MJI ได้แก่ *M. bipora* เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของไส้เดือนดินวงศ์ Megascolecidae และไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับด้วยเทคนิค PCR-RFLP ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป NTSYSpc version 2.1p โดยพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่ 1 *Dichogaster bolau* (outgroup) และกลุ่มที่ 2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือกลุ่มย่อยที่ 2.1 ประกอบด้วย *M. peguana*, *M. bahli*, *M. houletti*, *M. posthuma*, *M. bipora*, *M. anomala*, *A. seiboldi* และ unknown ส่วนกลุ่มย่อยที่ 2.2 ประกอบด้วย *M. sp1*, *M. sp2*, *M. sp3* และ *M. Planata* ซึ่งพบว่าทั้ง 2 กลุ่มใหญ่นี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนเท่ากับ 0.66 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharma *et al.*¹² ได้หาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* ที่มาจากแต่ละพื้นที่พบว่ามีความสัมพันธ์ความเหมือนเท่ากับ 0.6 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกจะคล้ายคลึงกันแต่ลักษณะทางพันธุกรรมอาจแตกต่างกันซึ่งข้อมูลทางพันธุกรรมจึงมีความน่าเชื่อถือมากกว่าข้อมูลทางสัณฐานวิทยา

การทำงานวิจัยในครั้งนี้ต่อไปอาจนำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้นำไปหาลำดับเบสของดีเอ็นเอ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างทางพันธุกรรมของไส้เดือนดิน และตัวอย่างที่นำมาศึกษาควรเก็บให้มากกว่านี้ และครอบคลุมในทุกพื้นที่เพื่อช่วยในการจัดจำแนกได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2556 จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. อานัฐ ตันโช. ไส้เดือนดิน. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2549.
2. Edward CA and Bohlen PJ. Biology and ecology of earthworm. 3rd ed. London: Chapman and Hall; 1996.
3. Levelle P, Brussaard L and Hendrix P. Earthworm management in tropical a Groecosystem. New York: CABI; 1999.

4. Somniam P. The population dynamics and Distribution of terrestrial earthworm at Sakaerat Environmental Research station and adjacent Areas, Nakhon Ratchasima Province. Ph.D. Thesis. Suranaree University of Technology; 2008.
5. สิริพร พงษ์สมบูรณ์. การตรวจหาความแปรผันทางพันธุกรรมในประชากรกิ้งกูดำ *Penaeus momo-don* โดยการตรวจสอบลายพิมพ์ดีเอ็นเอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539.
6. Gates GE. Burmese earthworm: An introduction To the systematic and biology of Megadrile Oligochaetes with special reference to Southeast Asia. Transactions of the American Philosophical society 1972; 62: 326.
7. Sims RW and Easton EG. A numerical revision of the earthworm genus *Pheretima* (Megascolecidae: Oligochaeta) with the recognition of new genera and an appendix on the earthworms collected by the royal society North Borneo Expedition. Biological Journal of the Linnean Society 1972; 4: 169-268.
8. Thaewnon-ngiw B, Klinbunga S, Phanwichien K, Sangduen N, Lauhachinda N and Menasveta P. Genetic diversity and Molecular Markers in Introduction and Thai Native Apple Snail (*Pomacea* and *Pila*). Biochemistry and Molecular Biology 2004, 37: 493-502.
9. Ward RD, Zemlak TS, Innes BH, Last PR and Hebert PDN. DNA barcoding Australia's fish species. Philosophical transaction the royal society biological sciences 2005, 360: 1847-1857.
10. Blakmore RT. Checklist of Thailand taxa updated from Gates' (1939): "Thai Earthworm". [Serial online] 2006. Available from: <http://www.annelida.net/earthworm/Thailand%20taxa%20updated%20from%20Gates.pdf>. Accessed April 5, 2013.
11. Loongyai W, Bangrak P and Chantsarang S. External morphological comparison, Taxonomic revision and molecular of earthworm in Thailand. Agriculture & Biology 2011;13: 553-558.
12. Sharma A, Sonah H, Deshmukh RK, Singh NK and Sharma TR. Analysis of genetic diversity in earthworm using DNA markers. Zoological Science 2011; 28: 25-31.

การผลิตไฮโดรเจนด้วยกลีเซอรอลดิบจากการผลิตไบโอดีเซลในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำโดย *Escherichia coli* HB41

Hydrogen Production from Crude Glycerol from Biodiesel Production in Repeated Semi-continuous Process by *Escherichia coli* HB41

จิตติญาภรณ์ เนื่องมี¹, ฑาลิศา ยูวามรพิทักษ์^{2*}, กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา³

Thitiyaporn Nueangmee¹, Thalisa Yuwa-amornpitak^{2*}, Kannika Chokietwattana³

Received: 10 July 2014 ; Accepted: 30 November 2014

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องจากกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดย *E. coli* HB41 การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบการผลิตไฮโดรเจนที่แปรผันอัตราการป้อนอาหารเป็นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ของปริมาตรการทำงาน 1 ลิตร ที่มีกลีเซอรอล 20 กรัมต่อลิตรเข้าสู่ระบบทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลานาน 120 ชั่วโมง พบว่าที่อัตราการป้อนอาหารร้อยละ 5 มีผลได้ไฮโดรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 0.231 โมลไฮโดรเจนต่อโมลกลีเซอรอล ในขณะที่อัตราการป้อนอาหารร้อยละ 10 15 และ 20 มีผลได้ไฮโดรเจนเป็น 0.102 0.081 และ 0.074 โมลไฮโดรเจนต่อโมลกลีเซอรอลตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจึงได้ศึกษาในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ โดยป้อนอาหารทุก ๆ 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 2 สัปดาห์ด้วยอัตราการป้อนอาหารร้อยละ 5 ของปริมาตรการทำงาน 1 ลิตร อาหารมีกลีเซอรอล 20 กรัมต่อลิตร พบว่าผลได้ไฮโดรเจนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 คือ 0.31 โมลไฮโดรเจนต่อโมลกลีเซอรอล หลังจากนั้นผลได้ไฮโดรเจนค่อย ๆ ลดต่ำลงจนถึงวันที่ 8 และลดลงต่อเนื่องอย่างรวดเร็วจนกระทั่งในวันที่ 11 ไม่มีไฮโดรเจนเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่มีการเจริญของ *E. coli* HB41 มีการผลิตกรดอะซิติกและเอทานอลด้วยเช่นกัน ปริมาณกรดและเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.45 และ 5.89 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณกรดและเอทานอลมีผลทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากเริ่มต้นอาหารมี pH 7 ลดลงเป็น pH 4.3

คำสำคัญ : *E. coli* ไฮโดรเจน กลีเซอรอลดิบ ระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ

Abstract

The aim of this work was to study hydrogen production in a semi-continuous process by *E. coli* HB41 from crude glycerol, the by product or waste from biodiesel production. Hydrogen production from a medium containing 20 g/l glycerol at various feeding rates: 5, 10, 15, 20% of 1 liter working volume by feeding every day for 5 days, was examined. It was found that the highest hydrogen yield at 0.231 mol hydrogen/ mole glycerol was gained at a 5% loading rate. The hydrogen yield at a feeding rate of 10, 15 and 20% was 0.102, 0.081, and 0.074 mol hydrogen/ mol glycerol, respectively. For continuous production of hydrogen, a semi-continuous process was performed. The medium containing glycerol 20 g/l at 5% loading rate of 1 liter working volume was daily feed for 14 days. The results revealed that hydrogen yield slightly increased and reached the maximum at day 6 with a value of 0.31 mol hydrogen/ mole glycerol. After, the hydrogen yield slightly decreased until day 8. At day 11, no hydrogen production was observed. During growth of *E. coli* HB41, acetic acid and ethanol were also produced. Acetic acid and ethanol production were 2.45 and 5.89 g/l, respectively. The increase in acetic acid resulted in decrease of pH from 7.0 at the beginning to 4.3 at the end of fermentation.

Keywords: *E. coli* HB41, hydrogen, crude glycerol, semi-continuous

¹ นิสิตปริญญาโท, ²รองศาสตราจารย์, ³ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ²Associate professor, ³Assistant professor, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author : Thalisa Yuwa-amornpitak, Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail address: HYPERLINK "mailto:Eammiki_CNSD@hotmail.com" Eammiki_CNSD@hotmail.com.

บทนำ

ไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาดและเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เนื่องจากการเผาไหม้ไฮโดรเจนด้วยออกซิเจนได้เพียงน้ำและพลังงานความร้อนเท่านั้น¹ โดย 1 กิโลกรัมของไฮโดรเจนให้พลังงานเทียบเท่า 3.5 ลิตรของน้ำมันปิโตรเลียม ไฮโดรเจนมีค่าพลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานสำรอง² การผลิตไฮโดรเจนมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี ทางไฟฟ้าและกระบวนการทางชีวภาพ³ การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรียและสาหร่ายซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษเพราะของเสียจากกระบวนการทางชีวภาพสามารถบำบัดและกำจัดได้ง่าย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Clostridium butylicum* และ *Chalmydomonas* เป็นต้น จุลินทรีย์เหล่านี้มีปฏิกิริยาและกลไกในการผลิตไฮโดรเจนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และสภาวะแวดล้อม

กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ปัจจุบันมีการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและขยายตัวอย่างรวดเร็วทำให้มีปริมาณกลีเซอรอลเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะได้กลีเซอรอลร้อยละ 10 ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ กลีเซอรอลที่ได้นี้มีความเข้มข้นของกลีเซอรอลร้อยละ 41 (w/v)⁴ เนื่องจากกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีสิ่งปนเปื้อนหลายอย่าง เช่น ต่างที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ สบู่ที่เกิดขึ้นควบคู่กับไบโอดีเซล และถ้าเป็นน้ำมันใช้แล้วยังมีสิ่งปนเปื้อนมากขึ้น ซึ่งมาจากน้ำตาล น้ำตาล แป้ง เครื่องเทศ และอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร จึงเรียกกลีเซอรอลนี้ว่า กลีเซอรอลดิบ เพราะยังไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์นั่นเอง กลีเซอรอลดิบจึงเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิตไฮโดรเจนได้โดยจุลินทรีย์ จึงเป็นแนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากของเสีย และยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยอีกทางหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันใช้แล้ว ตลอดจนศึกษาการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อศึกษาแนวโน้มการพัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

วิธีการทดลอง

อาหารกลีเซอรอล (Glycerol medium)

เตรียมอาหาร Glycerol-medium (กรัมต่อลิตร) ดังนี้ KH_2PO_4 1.5, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1, $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1, Peptone 10, NaCl 20, Glycerol waste 20 ml จำนวน 900 มิลลิลิตรที่มี pH 7 บรรจุในถังหมักขนาด 1 ลิตร ก่อนหนึ่งฆ่าเชื้อพร้อมถังหมัก ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

การเตรียมกลีเซอรอล

กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีสิ่งเจือปนจากกระบวนการผลิตได้แก่ แอลกอฮอล์ ต่างน้ำมันที่ยังไม่เข้าทำปฏิกิริยาและ ไบโอดีเซลที่แยกออกไม่หมด รวมถึงสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ดังนั้นจึงเตรียมกลีเซอรอลด้วยการปรับสภาพให้มี pH 4 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6 โมลาร์ แล้วแช่ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนซัลเฟตออก แช่เย็นที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อแยกส่วนแข็งซึ่งเป็นน้ำมันที่อยู่ส่วนบน ส่วนล่างเป็นกลีเซอรอลซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

จุลินทรีย์และการเก็บรักษา

Escherichia coli HB41 เป็นแบคทีเรียผลิตไฮโดรเจนที่คัดแยกได้ในห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพจากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียสหกรณ์โคนม อสค.⁵ เก็บรักษาในหลอดอาหารแข็งที่มีอาหารแข็งสูตร modified LB (g/l: glucose, 10; KH_2PO_4 , 1.5; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 2; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.1; $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.1; NaCl, 20; malt extract, 10; peptone, 10) พีเอช 7 บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เก็บหัวเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และควรถ่ายเชื้อในหลอดอาหารใหม่ทุก ๆ 2-4 สัปดาห์

การเตรียมหัวเชื้อเริ่มต้น

ถ่าย *E. coli* HB41 จากหลอดเก็บหัวเชื้อบริสุทธิ์ที่มีอายุไม่เกิน 24-48 ชั่วโมง จำนวน 1 ลูบ ลงในหลอดอาหารเหลว modified LB ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่เติมกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร บรรจุในหลอดฝาเกลียว บ่มเชื้อในหลอดอาหารเหลวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพิ่มปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 10 มิลลิลิตรเป็น 100 มิลลิลิตรเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการทดลองต่าง ๆ

ผลของอัตราป้อนต่อการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่อง

ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลดิบ 20 กรัมต่อลิตรในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Figure 1) โดย *E. coli*

HB41 ด้วยการแปรผันอัตราป้อนอาหารเป็นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ของปริมาตรการทำงาน 1 ลิตร อาหารเริ่มต้นมี pH 7 ควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 120 ชั่วโมง มีการเติมอาหารทุกๆ 24 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง

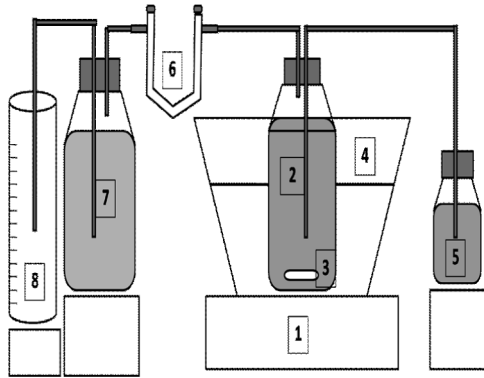


Figure 1 Diagram of the reactor for hydrogen production in repeated semi-continuous process

- 1 : Hot plate stirrer
- 2 : Reactor (1L)
- 3 : Magnetic stirrer
- 4 : Water bath
- 5 : Modified LB medium
- 6 : U-tube manometer
- 7 : Water (PH 4)
- 8 : Graduated Cylinder

การผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ

ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนด้วยกลีเซอรอลดิบ 20 กรัมต่อลิตรโดย *E. coli* HB41 ในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ ด้วยอัตราป้อนอาหารร้อยละ 5 ทุก ๆ 24 ชั่วโมง เพื่อเริ่มต้น PH 7 ควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยไม่มีการควบคุมพีเอชระหว่างการหมัก

วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์

วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในถังหมักด้วยวิธี แทนที่น้ำ โดยการต่อสายยางวัดปริมาตรก๊าซจากถังหมักกับภาชนะที่บรรจุน้ำที่ผ่านการปรับสภาพเป็น pH 4 เพื่อป้องกันก๊าซละลายในน้ำ วิเคราะห์ไฮโดรเจนด้วยเครื่อง Gas Chromatograph ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14A ระบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) ด้วย คอลัมน์ porapak Q วิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas Chromatograph ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14A ระบบ Flame Ionization Detector (FID) ด้วย คอลัมน์ Carbowax บรรจุด้วยสาร Carbowax วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลโดยวิธีของ Bondioli and Della (2005)⁶ และวัดค่าพีเอช ด้วย pH meter

ผลการทดลอง

ผลการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่อง

ผลการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องโดย *E. coli* HB41 ด้วยกลีเซอรอลดิบที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราป้อนอาหารร้อยละ 5 10 15 และ 20 มีปริมาณกลีเซอรอลคงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 4.43 4.82 และ 5.28 กรัมต่อลิตรตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณกลีเซอรอลที่ถูกใช้ไปทั้งหมดภายในเวลา 5 วันเท่ากับ 11.95 10.92 11.33 และ 8.84 กรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของปริมาณกลีเซอรอลที่ถูกใช้ไปเท่ากับ 62.4 57.9 59.7 และ 46.1 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่า *E. coli* HB41 มีประสิทธิภาพในการใช้กลีเซอรอลได้สูงสุดที่อัตราป้อนอาหารต่ำที่สุดคือที่ร้อยละ 5 หากอัตราป้อนอาหารเพิ่มขึ้นอัตราการใช้กลีเซอรอลกลับยิ่งลดลงอย่างชัดเจน ทำให้น้ำหมักมีปริมาณกลีเซอรอลคงเหลือสะสมสูงที่สุดที่อัตราป้อนร้อยละ 20 และปริมาณ กลีเซอรอลคงเหลือสะสมน้อยลงที่อัตราป้อนต่ำกว่า (Figure 2) ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เจริญในระบบไร้อากาศมีอัตราการเจริญของเซลล์ต่ำกว่าจุลินทรีย์ที่เจริญในระบบมีอากาศ

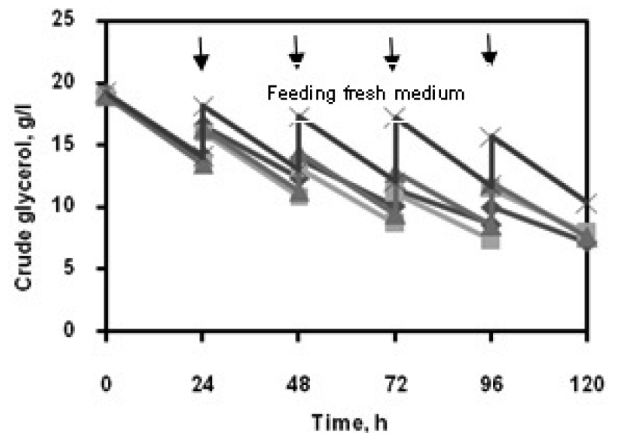


Figure 2 Glycerol residue remaining in 20 g/l glycerol medium at various loading rate of semi-continuous process for hydrogen production by *E. coli* HB41 at 35 °C for 120 h.

- ◆ 5% loading
- ▲ 15% loading
- 10% loading
- × 20% loading

Figure 3 แสดงปริมาณไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันโดยแสดงเป็นค่าของไฮโดรเจนสะสมและคิดเป็นผลได้ไฮโดรเจนคือคิดเป็นจำนวนโมลของก๊าซไฮโดรเจนต่อโมลของกลีเซอรอลที่ถูกใช้ไป จากข้อมูลพบว่า *E. coli* HB 41 ผลิตไฮโดรเจนได้สูงสุดใน 24 ชั่วโมงที่ทุก ๆ อัตราป้อนอาหาร (Figure 3A) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (เนื่องจากยังไม่ได้ป้อน

อาหาร) แต่อย่างไรก็ตามหลังชั่วโมงที่ 24 (ตั้งอาหารเก่าออก และป้อนอาหารใหม่เข้าเท่ากับปริมาตรของอัตราป้อนนั้น ๆ) ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสะสมกลับลดลงอย่างรวดเร็วในวันถัดมาหลังการป้อนอาหาร ที่อัตราป้อนอาหาร ร้อยละ 5 การผลิตไฮโดรเจนในชั่วโมงที่ 48 ลดลงเป็นร้อยละ 11.4 ในขณะที่อัตราป้อนอาหารร้อยละ 10 15 และ 20 การผลิตไฮโดรเจนสะสมลดลงเป็นร้อยละ 54 75 และ 69 ตามลำดับ และปริมาณไฮโดรเจนสะสมในชั่วโมงที่ 72 96 และ 120 ที่อัตราป้อนร้อยละ 5 มีปริมาณใกล้เคียงกันเฉลี่ยเป็น 210.4 มิลลิลิตรต่อวัน ในขณะที่อัตราป้อนร้อยละ 10 15 และ 20 เกิดไฮโดรเจนสะสมเฉลี่ยของชั่วโมงดังกล่าวเป็น 98 73.3 และ 73.5 มิลลิลิตรต่อวันตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับผลได้ไฮโดรเจนซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับ

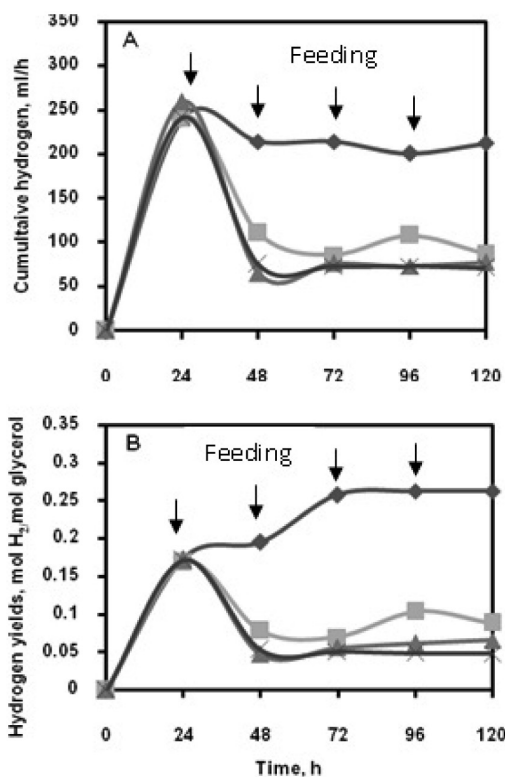


Figure 3 Hydrogen production in repeated semi-continuous process by *E. coli* HB41 from crude glycerol 20 g/l, incubated at 35 °C for 120 h. Various feeding rate of 5, 10, 15 and 20% were loaded into the fermentor every 24 h. (A) = Cumulative hydrogen, (B) = Hydrogen yield

◆ 5% loading ■ 10% loading
 ▲ 15% loading ✕ 20% loading

ไฮโดรเจนสะสม กล่าวคือที่อัตราป้อนร้อยละ 5 ให้ผลได้ไฮโดรเจนสูงที่สุดและเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 72-120 ในขณะที่อัตราป้อนร้อยละ 10 15 และ 20 มีผลได้ไฮโดรเจนลดลงหลังชั่วโมงที่ 24 จนมีค่าต่ำและคงที่ในชั่วโมงที่ 72-120 ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงดัง (Figure 3B) จากผลดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่าที่อัตราป้อนร้อยละ 5 เป็นอัตราป้อนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยที่สภาวะสมดุลระบบยังคงผลิตไฮโดรเจนได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเติมอาหารใหม่ให้ทุก ๆ วัน ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่องคือ สามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องเตรียมกล้าเชื้อใหม่ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถผลิตต่อเนื่องได้เป็นระยะเวลายาวนานกว่าการผลิตแบบกะ รายงานของ Yokoi และคณะ (2002) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากของเสียที่เป็นแป้งจากมันเทศ โดยใช้เชื้อผสมระหว่าง *C. butyricum* และ *Enterobacter aerogenes* แล้วเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตแบบกะและแบบกะซ้ำ (กึ่งต่อเนื่อง) พบว่ากระบวนการผลิตไฮโดรเจนแบบกะซ้ำให้ผลได้ไฮโดรเจนสูงกว่ากระบวนการผลิตแบบกะ ผลได้ไฮโดรเจนของทั้งสองระบบเป็น 2.7 และ 2 โมลไฮโดรเจนต่อโมลกลูโคส ตามลำดับ

การผลิตไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ชนิดและปริมาณของแหล่งอาหารคาร์บอนแล้วค่าพีเอชและกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิตไฮโดรเจน Figure 4 แสดงค่าพีเอช ปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลที่เกิดขึ้นในอาหาร Glycerol medium จากการผลิตไฮโดรเจนในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำโดย *E. coli* HB41 ที่มีการแปรผันอัตราป้อนอาหาร โดยใช้อาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 ทุก ๆ 24 ชั่วโมง มีการป้อนอาหารเข้าระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ค่าพีเอชของอาหารเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตไฮโดรเจน (Figure 4A) จะเห็นได้ว่าพีเอชของอาหารที่ทุก ๆ อัตราการป้อนอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว ภายใน 24 ชั่วโมง พีเอชของอาหารในถังหมักก่อนการป้อนอาหารใหม่ลดลงเฉลี่ยที่ทุก ๆ อัตราการป้อนเป็น pH 5.83 และเมื่อป้อนอาหารเข้าไปใหม่จะมีค่า pH เฉลี่ยที่ทุก ๆ อัตราการป้อนอาหารเป็น pH 6.08 นอกจากนี้พีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลงทุกวัน อย่างไรก็ตามในวันที่ 5 ของการทดลองที่ทุก ๆ อัตราป้อนอาหารในถังหมักมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ที่ 5.72 pH ของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เพราะขณะที่แบคทีเรียมีการเจริญมากขึ้นก็จะมีกรดอินทรีย์ระเหยได้มากขึ้นและสะสมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า pH ลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้แบคทีเรียแต่ละชนิดมีความสามารถเจริญในสภาวะ pH ที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่า pH จึงมีส่วนสำคัญต่อการผลิตไฮโดรเจนเนื่องจากมี

ผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย⁹ Fountoulakis และ Manios (2009)⁹ ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากเศษขยะอินทรีย์ชุมชน และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรร่วมกับการใช้ กลีเซอรอลดิบเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฮโดรเจน พบว่า หากค่า pH ในน้ำหมักอยู่ระหว่าง 5.6-4.1 จะทำให้ให้ผลได้ ของไฮโดรเจนผันผวนเป็นอย่างมาก pH ของอาหารในแต่ละ วันมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากทำให้ผลได้ไฮโดรเจนแตกต่างกันมาก และถ้า น้ำหมักมี pH ต่ำกว่า 5 อัตราการผลิตไฮโดรเจน ลดต่ำลงและหยุดการผลิตได้ในที่สุด⁵ ได้ศึกษาการผลิต ไฮโดรเจนโดย *E. coli* HB41 ด้วยกลีเซอรอลดิบ พบว่าค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรเจนคือ pH 7 และที่ pH 4 เชื้อ *E. coli* HB41 สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด

Figure 4B และ 4C แสดงปริมาณการเกิดกรด อะซิติกและเอทานอลในระหว่างการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ เป็นเวลา 5 วัน จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า *E. coli* HB41 ผลิตกรด อะซิติกและเอทานอลสูงที่สุดที่อัตราการป้อนอาหารร้อยละ 5 และมีแนวโน้มการผลิตสารทั้งสองชนิดนี้ลดลงเมื่ออัตราการ ป้อนอาหารเพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นลำดับ ที่อัตราการป้อนอาหาร ร้อยละ 5 ปริมาณกรดอะซิติกมีค่าเฉลี่ยทั้ง 5 วันเป็น 1.89 กรัม ต่อลิตร ในขณะที่อัตราการป้อนอาหารที่ร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าเฉลี่ยของกรด อะซิติกเป็น 1.02 0.82 0.71 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับปริมาณเอทานอลที่อัตราการป้อนอาหาร ร้อยละ 5 มีค่าสูงที่สุดเฉลี่ยทั้ง 5 วันเป็น 4.51 กรัมต่อลิตร และ ที่อัตราการป้อนอาหารเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 มีปริมาณ เอทานอลเฉลี่ยทั้ง 5 วันลดลงเป็น 3.74 3.69 และ 3.67 ตามลำดับ

ปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักสอดคล้องกับปริมาณไฮโดรเจนสะสมและผลได้ ไฮโดรเจน แสดงดัง Figure 3A และ 3B จากภาพจะเห็นได้ว่า ที่อัตราการป้อนอาหารร้อยละ 5 มีปริมาณไฮโดรเจนสะสมและ ผลได้ไฮโดรเจนสูงที่สุดสอดคล้องกับปริมาณกรดอะซิติกและ เอทานอล¹⁰ รายงานผลการศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจาก *E. coli* โดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าการผลิต ไฮโดรเจนจำเป็นต้องผลิต เอทานอลและอะซิเตทควบคู่ไปด้วย ซึ่งกรดอินทรีย์เหล่านี้เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายสาร อินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด และผลได้ของไฮโดรเจน จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอินทรีย์ด้วยเช่นกัน เนื่องจากการผลิตไฮโดรเจนของ *E. coli* HB41 ซึ่งเป็น จุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes จะผลิตไฮโดรเจน ผ่านปฏิกิริยาชีวเคมีแบบ *Escherichia coli* system โดยใช้ เอนไซม์ไฮโดรจีเนสและฟอร์มาตี-ไฮโดรจีเนส

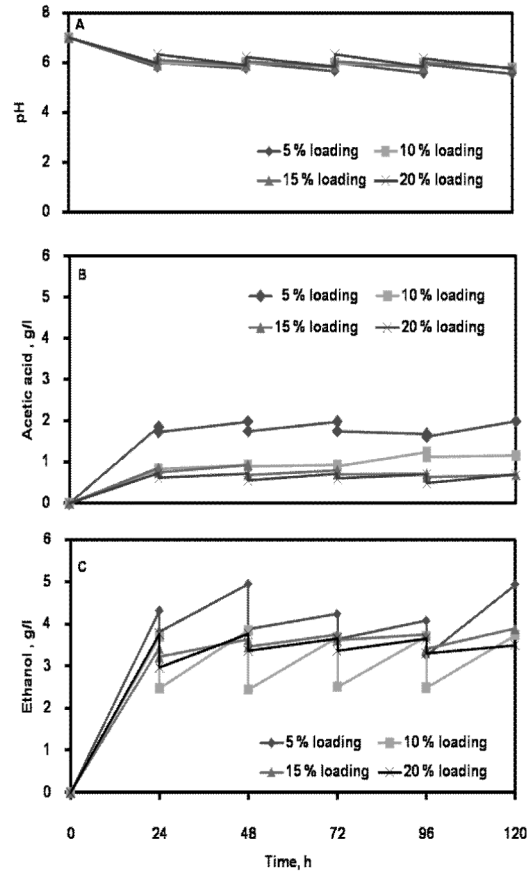


Figure 4 Profile of pH (A), acetic acid (B) and ethanol (C) during hydrogen production by *E. coli* HB41 in repeated semi-continuous process, crude glycerol was feeded every 24 h at various loading rate. Temperature was control at 35°C.

ทั้งนี้ถ้าผลิตเกินที่สูงสุดท้ายที่ได้เป็นกรด อะซิติกจะได้ ไฮโดรเจนถึง 2 โมลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส² ผลการศึกษานี้ ทำให้ทราบว่าอัตราการป้อนอาหารที่ร้อยละ 5 ให้ผลผลิต ไฮโดรเจนและผลได้ไฮโดรเจนสูงที่สุด ในขณะที่การเพิ่มอัตรา การป้อนอาหารเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 ทำให้ผลผลิต ไฮโดรเจนและผลได้ไฮโดรเจนลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากที่อัตราการป้อนอาหารสูง หมายถึงการเพิ่มปริมาณ อาหารที่มากเกินไปจนความต้องการให้กับจุลินทรีย์และก่อนการ ป้อนอาหารต้องตั้งอาหารในถังออกก่อนเท่ากับจำนวนที่ป้อน เข้า ทำให้ระบบต้องสูญเสียจุลินทรีย์ ออกจากระบบไปด้วย ประกอบกับ *E. coli* HB1 มีการเจริญช้า ทำให้จำนวนเซลล์ใน ระบบลดลงจึงส่งผลให้การผลิตไฮโดรเจนลดลง โดยทั่วไปถ้า ปริมาณเชื้อเริ่มต้นในระบบน้อย จะต้องใช้เวลานานในการเกิด ไฮโดรเจน ปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมคือร้อยละ 10 ของ ปริมาณอาหาร^{11,12}

ผลของการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนให้เกิดได้อย่างต่อเนื่องจึงได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนโดย *E. coli* HB41 ในระบบแบบกึ่งต่อเนื่องซ้ำที่อัตราการป้อนอาหารร้อยละ 5 ทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการควบคุมค่าพีเอชที่เกิดขึ้นในถังหมัก ผลการทดลองแสดงดัง Figure 5 และ 6 การลดลงอย่างรวดเร็วของกลีเซอรอลในช่วงแรกจนถึงวันที่ 5 ของการหมัก

(Figure 5A) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการใช้ไปอย่างรวดเร็ว ถึงแม้จะมีการเติมอาหารใหม่ให้ทุกวันทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น หลังจากนั้นปริมาณกลีเซอรอลคงเหลือในอาหารตั้งแต่วันที่ 5 ถึง วันที่ 10 ค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าระบบมีการปรับตัวค่อนข้างสมดุลระหว่างการใช้อาหาร การสะสมอาหารในถังหมักและปริมาณเซลล์ที่สูญเสียไปจากระบบรวม

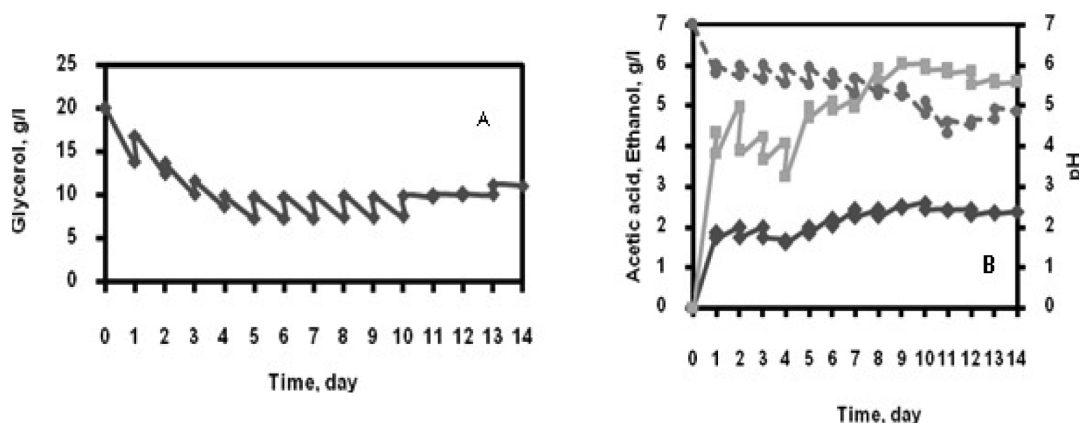


Figure 5 Glycerol, Acetic acid and ethanol profile during hydrogen production by *E. coli* HB41 in repeated semi-continuous process at 5% loading rate of 20 g/l crude glycerol medium every day for 14 days —◆— Acetic acid —■— Ethanol —●— pH

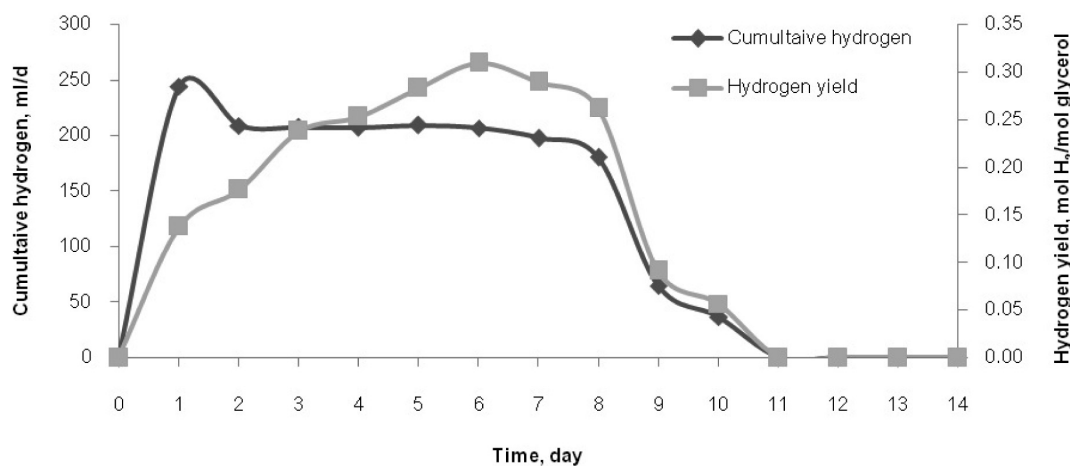


Figure 6 Cumulative hydrogen and hydrogen yield from repeated semi-continuous process by *E. coli* HB41 at 5% loading rate of 20 g/l crude glycerol medium every day for 2 weeks at 35 °C

ทั้งเซลล์ใหม่ที่เพิ่มขึ้นในถังหมัก แต่หลังจากวันที่ 11 กลับพบว่าปริมาณกลีเซอรอลในถังหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าระบบเกิดความไม่สมดุลของจุลินทรีย์เนื่องจาก ในช่วงที่มีความสมดุลของจุลินทรีย์ในช่วงวันที่ 5 – 10 มีการ

ผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นและสูงกว่ากรดอะซิติกส่งผลให้อาหารมีสภาพเป็นกรดมากขึ้นและต่ำกว่า pH 5 (Figure 5B) ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของ *E. coli* HB41 ส่งผลให้มีการใช้กลีเซอรอลลดลง (การสะสมกลีเซอรอลจึง สูงขึ้นใน

ช่วงท้าย ๆ ของกระบวนการ แสดงดัง Figure 5A) รวมถึงการสูญเสียเซลล์จุลินทรีย์ไปกับการบ่อนอาหารออกด้วย ผลการผลิตไฮโดรเจนแสดงดัง Figure 5C จะเห็นได้ว่า *E. coli* HB41 มีการสร้างไฮโดรเจนได้อย่างรวดเร็วและมีปริมาณสูงภายใน 24 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นเมื่อมีการบ่อนอาหารใหม่ให้กับระบบทุก ๆ 24 ชั่วโมง การผลิตไฮโดรเจนค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 8 แต่หลังจากนั้น การผลิตไฮโดรเจนลดลงและหยุดผลิตในวันที่ 11 เป็นต้นไป ผลได้ไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดก็หาค่าไม่ได้เนื่องจากไม่มีการผลิตไฮโดรเจน ซึ่งอาจเกิดผลการยับยั้งแบบย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ (feedback inhibition)¹³ ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ได้แก่ กรดอะซิติกและเอทานอล ผลนี้สอดคล้องกับปริมาณไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น และสอดคล้องกับปริมาณกลีเซอรอลคงเหลือในถัง รวมถึงปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลที่ผลิตขึ้นด้วย¹⁴ ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ของ *C. butyricum* และ *E. coli* ผลการใช้เชื้อผสมพบว่าปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงส่งผลต่อการผลิตไฮโดรเจนโดยที่ค่า pH 4.3 จะเกิดการยับยั้งการผลิตไฮโดรเจน รายงานของ Stewart (1975)¹⁵ ศึกษาผลของฟอสเฟตและกรดอินทรีย์ระเหยต่อการเจริญของแบคทีเรียจากลำไส้สัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่าเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลงและระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออัตราส่วนของกรดโพไฟโฟอินิกต่อกรดอะซิติกเกิน 1.4 กรัมต่อลิตร จะทำให้ระบบหมักเกิดความล้มเหลว อย่างไรก็ตามแม้ว่ากรดอินทรีย์จะมีปริมาณมากแต่มีจุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถเจริญและผลิตไฮโดรเจนได้

สรุปผล

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่ากลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นของเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันใช้แล้วมีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนอย่างเช่นไฮโดรเจนได้ด้วยแบคทีเรีย *E. coli* HB41 เนื่องจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียชนิดนี้ตรวจพบเอทานอลและกรดอะซิติกในน้ำหมักแต่ไม่พบกรดโพไฟโฟอินิกและกรดบิวทิริก แสดงว่าระบบการหมักนี้เป็น ethanol type fermentation¹⁶ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไฮโดรเจนในระบบกึ่งต่อเนื่องจากกลีเซอรอลดิบด้วย แบคทีเรีย *E. coli* HB41 สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาถึง 11 วัน ด้วยอัตราบ่อนอาหารร้อยละ 5 โดยไม่ควบคุมสภาพกรด-ด่างของระบบการหมัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Suksaman S, Alissara R, Samart M. Repeated-batch fermentative for bio-hydrogen production from cassava starch manufacturing wastewater. Pak J Biol Sci 2007;10:1782-89.
2. Kapdan LK, Kargi F. Bio-hydrogen production from waste materials. Enz Micro Technol 2006;38:569-82.
3. Lay JJ, Lee YJ, Neuke T. Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste. Wat Res 1999;33:2579-86.
4. Ito T, Nakashimada Y, Senba K, Matsui T, Nishio N. Hydrogen and ethanol production from glycerol-containing wastes discharged after biodiesel manufacturing process. J Biosci Bioeng 2005;100:260-65.
5. Yuwa-amornpitak T. Bio-hydrogen production from biodiesel glycerol waste from used oil by bacterium isolated from waste water sludge. J Environ Sci Technol 2012;5:373-80.
6. Bondioli P, Della Bella L. An alternative spectrophotometric method for the determination of free glycerol in biodiesel. Eur J Lipid Sci Technol. 2005;107:153-57.
7. Yokoi H, Maki R, Hirose J, Hayashi S. Microbial production of hydrogen from starch-manufacturing wastes. Biomass Bioen. 2002;22: 389-95.
8. Zheng XJ, Yu HQ. Inhibitory effects of butyrate on biological hydrogen production with mixed anaerobic cultures. J Environ Manage. 2005;74:65-70.
9. Fountoulakis MS, Manios T. Enhanced methane and hydrogen production from municipal solid waste and agro-industrial by-products co-digested with crude glycerol. Biores Technol. 2009; 100(12): 3043-47.
10. Manish S, Venkatesh KV, Banerjee R. Metabolic flux analysis of biological hydrogen production by *Escherichia coli*. Int J Hydro Energy. 2007; 32(16): 3820-30.

11. Kotay SM, Das D. Microbial hydrogen production with *Bacillus coagulans* IIT-BT S1 isolated from anaerobic sewage sludge. *Biores Technol.* 2007;98:1183-90.
12. Wang CC, Chang CW, Chu CP, Lee DJ, Chang BV, Lio CS. Producing hydrogen from wastewater sludge by *Clostridium bifermentans*. *J Biotechnol.* 2003;102:83-92.
13. Ozmihci Serpil, Kargi Fikret. Dark fermentative bio-hydrogen production from waste wheat starch using co-culture with periodic feeding: effects of substrate loading rate. *Int J Hydro Energy.* 2011; 36:7089-93.
14. Seppälä JJ, Puhakka JA, Yli-Harja O, Karp MT, Santala V. Fermentative hydrogen production by *Clostridium butyricum* and *Escherichia coli* in pure and co-cultures. *Int J Hydro Energy.* 2011; 36:10701-08.
15. Stewart WDP, Rowell P. Effects of L-methionine-DL-sulphoximine on the assimilation of newly fixed NH_3 , acetylene reduction and heterocyst production in *Anabaena cylindrica*. *Biochem Biophys Res Commun.* 1975; 65:846-56.
16. Ren NQ, Wang BZ, Huang JC. Ethanol γ -type fermentation from carbohydrate in high rate acidogenic reactor. *Biotechnol. Bioeng.* 1997; 4:428-33.

การให้ชุดกิจกรรมความรู้ทางสุขภาพโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน เพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในชุมชนชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Community-Based Health Education Intervention to Control Glycemia Risk Factors in Type 2 Diabetic Patients in Rural Districts of the Northeast Region

จตุพร เหลืองอุบล¹

Jatuporn Luang-ubol¹

Received: 24 August 2014 ; Accepted: 12 December 2014

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบของโปรแกรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองมีผลต่อการมีความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน และการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ในบรรดาผู้ป่วยโรคเบาหวาน ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าประกอบด้วยผู้ป่วยโรคเบาหวานจำนวน 147 คน ที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปี ขึ้นไป ที่ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และเป็นผู้ที่ยังคงเข้ารับบริการการติดตาม ณ คลินิกผู้ป่วยโรคเบาหวานจากโรงพยาบาลน้ำเกลี้ยง อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ และโรงพยาบาลบ้านฝาง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่นตัวอย่างได้รับการสุ่มและกำหนดให้เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองได้รับโปรแกรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองและการจัดการตนเอง การส่งเสริมประสิทธิภาพแห่งตน และทักษะการจัดการตนเอง ในขณะที่กลุ่มควบคุมได้รับการดูแลแบบปกติ และเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยมาตรวัดความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน และมีการวัดเสริมพลาสมา ไขมันกลูโคส และHbA_{1c} รวมทั้งลิพิด (lipid) ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบอิสระกัน (paired t-test) โดยผลของการศึกษาหลังครบ 24 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน การลดลงของระดับน้ำตาลในเลือด และ HbA_{1c} นอกจากนี้ทำให้ทราบว่าผู้ป่วยยังต้องการความช่วยเหลือทั้งจากสมาชิกภายในครอบครัว ผู้นำกลุ่ม และเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาล เช่น การออกกำลังกาย ในลักษณะเป็นกลุ่ม การวางแผนมื้ออาหารการทำความเข้าใจต่ออาการเจ็บป่วยและภาวะแทรกซ้อน สิ่งเหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องมีเจ้าหน้าที่คอยให้การชี้แนะอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการรวมกลุ่มสร้างเครือข่ายทั้งผู้ป่วยโรคเบาหวานและสมาชิกครอบครัวที่ให้การดูแลของแต่ละชุมชน ดังนั้น ผลจากการศึกษานี้ได้เสนอแนะให้โปรแกรม การจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง ถือเป็นกิจกรรมที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเบาหวานและสามารถใช้ได้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ไม่สามารถควบคุมโรคเบาหวานด้วยตนเองได้

คำสำคัญ: เบาหวาน ภาวะโภชนาการ เครือข่ายชุมชน

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effects of a diabetes self-management program on knowledge of diabetes and glycemic control among patients with diabetes mellitus. The sample included 147 adults 35 years old and older with type 2 diabetes. The samples came for a follow up visit at the diabetic clinic from a community hospital and primary health care setting, in Ban Fang and Namkieng Hospital. Participants were randomly assigned to experimental and compared groups. The experimental group received the diabetes self-management program that consisted of diabetes education, self-efficacy promotion, and self-management skills training, whereas the compared group received usual care. Data were collected using the Knowledge of Diabetes Scale from patients that had been tested for their psychometric properties, measurement of serum fasting plasma glucose, hemoglobin A_{1c}, and lipid

¹ อาจารย์, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัยจ.มหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, 44150, e-mail: jatuporn.l@msu.ac.th

profiles. Data were analyzed using descriptive, paired t-test. Results showed that at twenty four weeks after enrollment, the experimental group demonstrated a significant difference in knowledge of diabetes, decreased fasting plasma glucose, and hemoglobin A_{1c}. However, the findings from a focus group showed that a small group required diabetes education (about nutrition) Further, discussion for diabetes self-management should be conducted by nurses with those who have poor diabetic control. Volunteers may assist nurses with basic care such as serving healthy food, transporting patients, making plans for workouts and running errands. Volunteers must attend a Nursing Training Session before volunteering in a hospital unit. Results from this study suggest that the diabetes self-management program is effective in diabetes control and can be used in people with uncontrolled diabetes.

Keywords: diabetes mellitus, nutrition, community networks

บทนำ

โรคเบาหวาน เป็นโรคเรื้อรังที่เป็นปัญหาสำคัญและทำให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตลดลงเนื่องจากอาการแทรกซ้อนของอวัยวะต่าง ๆ เช่น โรคปลายประสาทตา และหรือจอประสาทตาเสื่อม โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคไต แผลที่เท้า เป็นต้น โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่พบบ่อยและมีอุบัติการณ์เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ได้มีการคาดการณ์จากสมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ (IDF) ว่าหากมิได้มีการป้องกันและควบคุมที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จะมีผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลกในปี พ.ศ. 2573 เพิ่มมากขึ้นกว่า 435 ล้านคน โรคเบาหวานจัดเป็นโรคที่มีการระบาดที่สำคัญของประเทศไทย โดยเป็นสาเหตุการป่วยที่พบได้ใน 10 อันดับแรก ระหว่างช่วง ปี พ.ศ. 2550-2552 ซึ่งมีอัตราป่วยต่อแสนประชากรเป็น 650.4, 675.7, 736.48 คน ตามลำดับ¹

ข้อค้นพบจากการศึกษาจำนวนมากได้มีการบ่งชี้ว่าการจัดการตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ และการควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดสามารถลดภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานได้² อย่างไรก็ตามความท้าทายจึงอยู่ที่ว่าโปรแกรมการจัดการตนเองที่มีประสิทธิภาพของกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานกลุ่มหนึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับประชากรผู้ป่วยเบาหวานได้อย่างไร การศึกษาส่วนหนึ่งได้พบว่าผู้ป่วยเบาหวานที่มีความแตกต่างทางวัฒนธรรมสามารถประสบผลสำเร็จในการจัดการตนเอง ได้แก่ แบบแผนเชิงชนบทธรรมเนียมประเพณีของการรับประทานอาหารและกิจกรรมในชีวิตประจำวัน⁴

การศึกษาที่มีความเกี่ยวข้องกับโรคเบาหวานในประเทศไทย แม้ว่าจะได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิชาการจำนวนมากไม่น้อย แต่ประเด็นของการพัฒนาขีดความสามารถเชิงวัฒนธรรมเพื่อการจัดการตนเองอย่างเป็นรูปธรรมนั้นอาจกล่าวได้ว่ามีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าความเชื่อเชิงวัฒนธรรมเกี่ยวกับการรับประทานอาหาร การดูแลตนเองเกี่ยวกับน้ำหนัก และการออกกำลังกาย รวมทั้ง

ความเชื่อเกี่ยวกับความสำคัญของครอบครัวอาจจะมีส่วนให้การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดทำได้ยากลำบาก และอาจนำไปสู่การอธิบายถึงความไร้ประสิทธิภาพของโปรแกรมการให้ความรู้ต่อผู้ป่วย ฉะนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการของโรงพยาบาลที่มีต่อผู้ป่วยเบาหวาน รวมทั้งพฤติกรรมเชิงวัฒนธรรมในการจัดการตนเองของผู้ป่วยเบาหวานและผู้ดูแลในครอบครัว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่ออธิบายปัจจัยที่อำนวยความสะดวกหรือเป็นอุปสรรคในการดูแลตนเองของผู้ป่วยเบาหวาน
2. เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการให้กิจกรรมความรู้เกี่ยวกับเบาหวาน บนพื้นฐานตัวแบบการดูแลผู้ป่วยโรคเรื้อรัง ผลลัพธ์เชิงพฤติกรรม ตลอดระยะเวลา 12 เดือนของการให้กิจกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (randomized controlled trial) ด้วยการออกแบบและถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบผลกระทบจากการใช้โปรแกรมการจัดการเบาหวานด้วยตนเองที่มีต่อการมีความรู้เกี่ยวกับเบาหวาน และการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สำหรับผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในชุมชนชนบท 2 แห่ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคนิควิธีที่ได้รับความนิยมในการวิจัยเชิงทดลองเพื่อบ่งชี้ประสิทธิผลของการทดลอง การศึกษานี้ได้ดำเนินการตรวจสอบความแตกต่างกันระหว่างผลกระทบที่มีต่อผู้ป่วยที่เข้ามามีส่วนร่วมในโปรแกรมการจัดการเบาหวานด้วยตนเอง และผู้ป่วยที่ได้รับการดูแลแบบปกติ ตัวแปรที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นโปรแกรมการจัดการเบาหวานด้วยตนเองสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน และตัวแปรตามประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับเบาหวาน และการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

ประชากรเป้าหมายสำหรับการศึกษานี้ประกอบด้วย ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และผู้ดูแลที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น และอำเภอน้ำเกลี้ยง จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งเข้ารับบริการตรวจสุขภาพที่คลินิกเบาหวานของโรงพยาบาลชุมชนหรือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพแต่ละแห่ง ตัวอย่างสำหรับการศึกษาประกอบด้วยผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 โดยเป็นผู้ป่วยนอกซึ่งถูกกำหนดให้มีการติดตามดูแล เกณฑ์คัดเลือกเข้าร่วมในการศึกษา ได้รับการกำหนดให้เป็นผู้ที่ป่วยเป็นเบาหวานชนิดที่ 2 และเข้าข่ายดังต่อไปนี้ 1) อายุ 35 ปีขึ้นไป และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 อย่างน้อย 6 เดือน 2) จากการติดตามอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยติดต่อกัน 2 ครั้ง เป็นผู้มีระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสโลหิต (fasting plasma glucose) สูงกว่า 140 mg%3) เป็นผู้มีสามารถอ่านออกและเขียนได้หรือสื่อสารด้วยภาษาไทยได้ 4) เป็นผู้ที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการและยินยอมให้คณะผู้ศึกษาเดินทางเข้าเยี่ยมบ้านได้

เกณฑ์คัดออกจากการศึกษา ได้ถูกกำหนดไว้ว่า เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และเข้าข่ายดังต่อไปนี้ 1) เป็นผู้มีโรค/อาการซับซ้อน 2) ได้รับอินซูลินในขั้นตอนของการรักษา เกณฑ์การคัดออกกระหว่างการศึกษา ได้รับการกำหนดไว้โดยผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ซึ่งมีอาการหรือได้รับการรักษา ดังนี้ 1) มีอาการซับซ้อนร่วมระหว่างการได้รับกิจกรรม 2) ได้รับการรักษาด้วยอินซูลิน 3) เข้าร่วมกิจกรรมไม่ครบตลอดช่วงเวลาของการให้ชุดกิจกรรม ผู้ป่วยที่เข้าร่วมกิจกรรมทุกแห่งได้รับการออกแบบด้วยการสุ่มและถูกจัดให้เป็นกลุ่มผู้ได้รับชุดกิจกรรมการดูแลเบาหวานด้วยตนเอง และกลุ่มผู้ได้รับการดูแลแบบปกติ

ในการประมาณขนาดตัวอย่างของการศึกษานี้ได้รับการคำนวณด้วยการใช้สูตรกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์แบบวัดซ้ำ ด้วยระดับนัยสำคัญที่แอลฟา (alpha) 0.05 และยังได้คำนึงถึงขนาดผลกระทบที่สามารถคำนวณได้ด้วยการใช้สูตรตามที่ได้มีการแนะนำไว้โดย โปลิสและเบค นอกจากนี้ยังได้มีการประมาณค่าอัตราการสูญหายที่ร้อยละ 10 ของขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้อีกด้วย ทั้งนี้ชุดกิจกรรมของการศึกษานี้เป็นการศึกษาที่ใช้ระยะเวลาค่อนข้างยาวนานถึง 6 เดือน ในการเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ได้มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (ประมาณ 4 เดือน) และเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ศึกษาในช่วงระยะเวลาเท่ากัน

ตัวอย่างผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และผู้ดูแลภายในครอบครัวของผู้ป่วยดังกล่าว ซึ่งอาศัยอยู่ในชุมชนที่สถานพยาบาลร่วมโครงการตั้งอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมของผู้ป่วยที่

จะเข้าร่วมโครงการจากการสุ่มและมีกลุ่มควบคุม จากการตรวจสอบข้อมูลเวชระเบียนในเบื้องต้นของประชากรผู้ป่วยเบาหวานที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์การศึกษา จะได้รับการติดตามผลลัพธ์ หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการเสนอให้เลือกว่าจะเข้าการสุ่มและมีกลุ่มควบคุมหรือไม่

ผู้มีส่วนร่วมเป็นผู้ป่วยเบาหวานและผู้ดูแลในครอบครัวทั้งเพศชายและหญิงที่มีอายุระหว่าง 35 – 70 ปี ได้รับการวินิจฉัยจากเวชระเบียนแล้วว่าเป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 มาแล้วอย่างน้อย 1ปี ส่วนผู้ดูแลผู้ป่วยเบาหวานในครอบครัวอาจเป็นได้ทั้งคู่สมรส หรือลูกสาวของผู้ป่วยเบาหวาน การดูแลผู้ป่วยเบาหวานได้รับการนิยามไว้ว่าเป็นผู้ให้การดูแลทางด้านร่างกาย อารมณ์ และ/หรือการสนับสนุนทางการเงิน เช่น การเดินทาง การเตรียมอาหาร

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- 1) คู่มือการพยาบาลสำหรับการส่งเสริมการจัดการเบาหวานด้วยตนเองของผู้ป่วยเบาหวานโดยแต่ละส่วนมุ่งเน้นถึงกลยุทธ์การยกระดับเชิงประสิทธิภาพ ประเด็นการแก้ไขปัญหาระดับกลุ่ม ระดับส่วนบุคคล และการเสริมแรง รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับเบาหวานและกลยุทธ์สำหรับการส่งเสริมประสิทธิภาพแห่งตนในการจัดการเบาหวานด้วยตนเองประกอบด้วย การวางแผนปฏิบัติการ ทักษะการพัฒนาตน เช่น การวางแผนมื้ออาหาร การมีกิจกรรมทางกาย/ออกกำลังกาย เป็นต้น และการใช้ต้นแบบ การโน้มน้าวใจ และความตื่นตัวทางสรีระและอารมณ์ เช่น การส่งเสริมให้พบทวนตีความอาการที่เกิดขึ้น การนำปัญหามาอภิปรายร่วมกันเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหา
- 2) คู่มือประจำตัวผู้ป่วยสำหรับการยกระดับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและคุณภาพชีวิต คู่มือนี้ได้รับการพัฒนาโดยผู้วิจัย ซึ่งมีเนื้อหาประกอบด้วย ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ความสามารถของผู้ป่วยต่อการจัดการเบาหวานด้วยตนเอง การกำหนดเป้าหมาย พฤติกรรมที่เหมาะสมในการจัดการเบาหวานด้วยตนเอง วิธีสำหรับการกำกับติดตามความก้าวหน้า และการประเมินผลการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดด้วยตนเอง 3) แบบเก็บข้อมูลประชากรได้รับการพัฒนาโดยผู้วิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลประกอบด้วยอายุ เพศ ระดับการศึกษา สถานะสมรส อาชีพ รายได้ ดั่งชีวมวลกาย ระยะเวลาการเจ็บป่วย ส่วนสูง น้ำหนัก ประวัติการเจ็บป่วย ประวัติการสูบบุหรี่ FPG, HbA1c ไขมันรวม, HDL, LDL, TG, BP การรับยาเพื่อการรักษา และภาวะซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวาน 4) มาตราวัดความรู้โรคเบาหวาน ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดยได้นำมาใช้วัดความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน ประกอบด้วยข้อถาม 20 ข้อ ซึ่งมีลักษณะคำตอบหลายตัวเลือก อีกทั้งรายการข้อถามถูกจำแนกเป็นเนื้อหา

เกี่ยวกับลักษณะของโรคเบาหวาน สัญญาณ (sign) และอาการบ่งชี้ (symptoms) การควบคุมอาหาร กิจกรรมทางร่างกายหรือการออกกำลังกาย การรับประทานยาตามแพทย์สั่ง การดูแลเท้า การรักษาบาดแผล การดูแลตนเองโดยทั่วไป

ชุดกิจกรรมแทรกที่ใช้ในการศึกษานี้ ผู้ป่วยจะได้รับการดูแลจากคณะทำงานจำแนกตามกลุ่มกิจกรรม โดยจัดให้มีกิจกรรมการให้ความรู้ผู้ป่วยเบาหวานด้วยการดูแลตนเอง 6 กิจกรรมหลัก ซึ่งต้องถือปฏิบัติสัปดาห์ละครั้ง และมีเจ้าหน้าที่คอยติดตามดูแลด้วยการเยี่ยมบ้านทุกเดือน ตลอดช่วงระยะเวลาจนกระทั่งครบ 1 ปี กิจกรรมเหล่านี้ได้ใช้แนวทางตามมาตรฐานสมาคมเบาหวานแห่งสหรัฐอเมริกา ผู้ร่วมศึกษาจะได้รับสมุดบันทึกที่มีรายละเอียดของเนื้อหาความรู้ในการดูแลตนเองของผู้ป่วยเบาหวานทั้ง 6 กิจกรรม ประกอบด้วย การรับประทานอาหารสุขภาพ การใช้ชีวิตอย่างกระฉับกระเฉง การกำกับติดตาม การรับประทานยา การแก้ไขและเผชิญปัญหาและการลดความเสี่ยง ทั้งนี้สมุดบันทึกของผู้ป่วยเบาหวานจะมีสารสนเทศส่วนบุคคล ซึ่งได้ถูกจัดเตรียมไว้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเชิงคลินิก ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ระดับไขมัน ความดันโลหิต และฮีโมโกลบินเอวันซี (HbA_{1c}) ที่มีต่อสถานะความเสี่ยงเบาหวาน เพื่อเป็นการช่วยให้ผู้เข้าร่วมโครงการเกิดความเข้าใจถึงค่าปกติต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น

กลุ่มทดลอง ได้ถูกกำหนดวันเวลานัดหมายสำหรับกลุ่มทดลองเพื่อเข้ามามีส่วนร่วมในโปรแกรม (10-15 คนต่อกลุ่มของแต่ละประเด็นของการให้ความรู้เกี่ยวกับเบาหวานหรือการอภิปรายกลุ่ม) และกำหนดวันเวลานัดหมายสำหรับการเยี่ยมบ้านเป็นรายบุคคลชุดกิจกรรมถูกนำมาใช้สำหรับกลุ่มทดลอง (ซึ่งได้มีการอธิบายไว้ในคู่มือการรักษาพยาบาล) ทั้งนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมผู้ป่วยให้สามารถจัดการเบาหวานได้ด้วยตนเองเช่น จัดให้มี (1) การให้ความรู้เบาหวานแก่กลุ่มผู้เข้าร่วมโครงการในสัปดาห์แรก (2 ชั่วโมง/กลุ่ม) ได้ถูกจัดให้เพิ่มขึ้นสำหรับกลุ่มทดลองด้วยการแบ่งกลุ่มผู้ป่วยให้มีขนาดที่เหมาะสม ผู้ร่วมโครงการจะได้รับคู่มือผู้ป่วยสำหรับการจัดการตนเอง ผู้วิจัยได้มีการนำเสนอตัวอย่างเทคนิคการกำหนดเป้าหมายด้วยการวางแผนเชิงปฏิบัติการ และส่งเสริมการกำหนดเป้าหมายส่วนบุคคลที่สามารถกระทำได้จริง เป็นต้น

สำหรับกลุ่มควบคุมจะได้รับ (1) ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานและคู่มือประจำตัวผู้ป่วยหลังจากโปรแกรมเสร็จสิ้น (2) ผู้วิจัยได้กำหนดวันเวลานัดหมายสำหรับกลุ่มควบคุมเพื่อการเข้ามามีส่วนร่วมในโปรแกรม (10-15 คน/กลุ่ม ในส่วนของการให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน ทั้งนี้จะเริ่มต้นกิจกรรมก็ต่อเมื่อหลังจากเสร็จสิ้นโปรแกรมโครงการ) (3) ผู้ที่

อยู่ในกลุ่มควบคุมจะได้รับการดูแลตามปกติจากพยาบาล ทัศนิกเบาหวานตลอดช่วงระยะเวลา 24 สัปดาห์ของโปรแกรม (4) ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน ถูกนำมาถ่ายทอดโดยผู้วิจัยให้กับผู้เข้าร่วมโครงการสำหรับกลุ่มควบคุมหลังจากเสร็จสิ้น 24 สัปดาห์

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับลักษณะทางประชากรและลักษณะทางคลินิกของผู้เข้าร่วมโครงการจะได้รับการสรุปในรูปของการแจกแจงความถี่ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน chi-square การทดสอบความน่าจะเป็น Fisher's exact probability test การทดสอบค่าที่กรณี Independent Samplet-test การทดสอบ The Wilcoxon-Mann-Whitney Test ค่าสถิติเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ตรวจสอบความแตกต่างของคุณลักษณะระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ณ จุดเริ่มต้นในขณะเดียวกันสำหรับการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 แนวปฏิบัติ ในประชากรที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (paired t-test) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานระดับการควบคุมไกลซีมิก ระหว่างก่อนการให้ชุดกิจกรรม และช่วงท้ายของโปรแกรม ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ทั้งนี้ก่อนเริ่มต้นการวิเคราะห์จำเป็นต้องมีการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลเสียก่อน

ผลการวิจัย

สำหรับลักษณะทางประชากรของตัวอย่างพบว่าผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 351 คน ได้ถูกรายงานว่าเป็นผู้ที่ไม่สามารถควบคุมเบาหวานได้ 209 คน เป็นผู้ที่อยู่ในเกณฑ์การคัดเข้าดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นรวมทั้งการสุ่มอย่างง่าย สำหรับการศึกษานี้ และถูกสอบถามเพื่อเข้าร่วมโครงการ 157 คน ซึ่งเป็นผู้ที่ยินดีและสมัครใจเข้าร่วมในการศึกษานี้ (ร้อยละ 75.12 ของผู้เข้าร่วมการศึกษา) และ 147 คนของผู้เข้าร่วมโปรแกรมอยู่ร่วมกิจกรรมจนครบโปรแกรม (ร้อยละ 93.63) ฉะนั้น ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์รวมทั้งสิ้น 147 คน โดยจำแนกเป็น 75 สำหรับกลุ่มทดลอง และ 72 คน สำหรับกลุ่มควบคุม

ผู้ร่วมโครงการส่วนหนึ่งไม่สามารถเข้าร่วมโครงการได้ครบตลอดระยะเวลาของการศึกษา ทั้งนี้โดยมีสาเหตุของการออกกลางคันดังนี้ จากกลุ่มควบคุมมีสาเหตุมาจากการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลอันเนื่องมาจากเกิดความรุนแรงของโรคหลอดเลือดสมองและโรคหัวใจขาดเลือด มี 2 คนที่ได้รับการเปลี่ยนวิธีการรักษาจากการรับยาลดระดับน้ำตาลในเลือดไปเป็นการใช้อินซูลิน และเปลี่ยนสถานที่รับการรักษา ซึ่งอยู่ห่างไกลทำให้ไม่สามารถติดตามได้โดยสะดวก ดังนั้น

ตัวอย่างผู้เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 76.20) มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน (BMI > 23 กก./ม² ร้อยละ 80.95) ผู้เข้าร่วมโครงการมีอายุเฉลี่ย 56.80 ปี (SD = 10.23 ปี) และประมาณ 2 ใน 3 เป็นผู้ที่มิมีสถานภาพสมรส และอาศัยในเขตชนบท สำหรับระดับการศึกษา ร้อยละ 92.50 ของผู้เข้าร่วมโครงการมีการศึกษาอย่างน้อยระดับประถมศึกษา และร้อยละ 53 ประกอบอาชีพที่ใช้แรงงาน (อย่างหนัก) ตัวอย่างจำนวน 113 (ร้อยละ 76.87) ได้รายงานว่ามีรายได้ครัวเรือนต่อเดือนน้อยกว่า 5,000 บาท สำหรับแหล่งที่ใช้บริการเพื่อการดูแลสุขภาพพบว่า มีหลากหลายแหล่ง ผู้เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่ (ร้อยละ 76.19) มีสิทธิในโครงการประกันสุขภาพระดับชาติ ผู้เข้าร่วมในการศึกษาได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มาแล้วเฉลี่ย 6.18 ปี (SD=5.01 ปี) และมีระดับน้ำตาลในเลือด (HbA_{1c}) ร้อยละ 8.09 (SD=1.90, สมาคมเบาหวานแห่งสหรัฐอเมริกาแนะนำไว้ที่ระดับต่ำกว่า ร้อยละ 7) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองมีข้อมูลทางประชากรทั้งหมดคล้ายคลึงกัน ณ เส้นฐาน แต่จะมีเฉพาะเพียงแต่อายุเท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน (p = 0.054)

ความแตกต่างของความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน และการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ณ จุดเริ่มต้น พบว่า ในช่วงเริ่มต้น ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ได้มีการพิจารณาถึงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ณ จุดเริ่มต้น ในประเด็นของคะแนนความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน และระดับของการควบคุมน้ำตาลในเลือด ด้วยมีการตรวจสอบด้วยการใช้การทดสอบ Independent Samplet-test ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่า มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมของบรรดาตัวแปรเหล่านี้ ทั้งนี้แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณาประเด็นความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน พบว่า ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีระดับความรู้ในระดับปานกลาง ทั้งนี้คะแนนความรู้เกี่ยวกับเบาหวานของกลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงหรือคล้ายคลึงกับกลุ่มควบคุม (=13.46, SD=2.90 และ =12.99, SD=3.16 ตามลำดับ) สำหรับการศึกษาผลการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ผู้วิจัยได้ประเมินจากค่าระดับFPG และค่าHbA_{1c} โดยพบว่าระดับFPG ทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีระดับสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน (=146.96, SD=42.41 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และ =141.97, SD=47.13 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบต่อเป้าหมายของการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด (90-130 mg%) ซึ่งอ้างอิงจากข้อเสนอแนะโดยสมาคมโรคเบาหวานแห่งสหรัฐอเมริกา จำนวนของผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มควบคุมสามารถควบคุมได้ร้อยละ 40.28 และกลุ่มทดลอง ร้อยละ

38.67 ณ จุดเริ่มต้น ในขณะที่ผู้เข้าร่วมโครงการที่ไม่สามารถควบคุมระดับกลูโคสในเลือดได้ (FPG> 180 mg%) ของทั้งสองกลุ่มมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

นอกจากนั้น สำหรับระดับHbA_{1c} ผู้เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (ร้อยละ 40.00 และ 48.61 ตามลำดับ) พบว่า ไม่สามารถควบคุมเบาหวานได้ (HbA_{1c}>ร้อยละ 8) ณ จุดเริ่มต้น ซึ่งตามที่ ADA (2004) ได้แนะนำไว้ว่า เป้าหมายของการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดคือระดับHbA_{1c} ต่ำกว่าร้อยละ 7 จำนวนของผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองที่สามารถควบคุมเบาหวานได้มีมากกว่าในกลุ่มควบคุม (ร้อยละ 33.30 และ 27.78 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของระดับHbA_{1c} ของกลุ่มทดลอง (=8.08, SD=1.87) และกลุ่มควบคุม (=8.09, SD=1.98) ณ จุดเริ่มต้นมีค่าคล้ายคลึงกัน

การเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน ระหว่าง ณ จุดเริ่มต้นและ 24 สัปดาห์หลังจากได้รับโปรแกรม ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมพบว่าหลังจากครบเวลา 24 สัปดาห์ของการให้ชุดกิจกรรม คะแนนเฉลี่ยของความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานทั้งกลุ่มทดลอง (=16.25, SD=2.41) และกลุ่มควบคุม (=13.78, SD=3.06) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.001, p<0.05 ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบกับจุดเริ่มต้น (=13.47, SD=2.92, =12.99, SD=3.16 ตามลำดับ) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ดีขึ้นอย่างสังเกตเห็นได้อย่างมีนัยสำคัญ นั่นหมายความว่าผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยของความรู้เพิ่มมากขึ้น (D=2.79) ในขณะที่ในกลุ่มควบคุมมีคะแนนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยประมาณครึ่งเท่า

การเปรียบเทียบการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ระหว่าง ณ จุดเริ่มต้น และ 24 สัปดาห์หลังจากได้รับโปรแกรม ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเพื่อการประเมินผลกระทบของโปรแกรมที่มีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สำหรับการศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญต่อการพิจารณาค่าคะแนนระดับFPG และระดับHbA_{1c} ซึ่งผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนของระดับFPG ของผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลอง (D=25.85, p<0.001) ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังจากได้มีการให้ชุดกิจกรรม ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ ณ จุดเริ่มต้น (ดังตาราง 1) สำหรับในกลุ่มควบคุม ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลกลูโคสในพลาสมา ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังการได้รับชุดกิจกรรมมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก ณ จุดเริ่มต้น แต่ทั้งนี้ไม่พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (D=0.79, p=0.473) (Table 1)

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับ HbA_{1c} สำหรับข้อมูลเริ่มต้น (ก่อนการจัดกระทำข้อมูลด้วยการแปลงค่า) พบว่าผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองได้แสดงให้เห็นว่า มีการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น ทั้งนี้จากการพิจารณาค่าคะแนนเฉลี่ยของระดับ HbA_{1c} ที่ลดลง (D=.68%, p<0.001) จากเดิมที่ไม่สามารถควบคุมได้ (=8.08, SD=1.87) จนกระทั่งควบคุมได้ดีขึ้นในระดับปานกลาง ณ สัปดาห์ที่ 24 ที่ได้มีการติดตาม (=7.40, SD=1.20) สำหรับกลุ่มควบคุมพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพียงเล็กน้อยของระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมจากเดิม ณ จุดเริ่มต้น (=8.09, SD=1.98) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังจากที่ได้มีการให้ชุดกิจกรรม (=8.02, SD=1.75) แต่ไม่พบว่ามีความสำคัญทางสถิติ (p=0.380)รายละเอียด (Table 1)

อย่างไรก็ตาม หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผ่านการจัดกระทำ พบว่า ให้ผลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับก่อนจัดกระทำข้อมูล ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยของระดับHbA_{1c} ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังจากให้ชุดกิจกรรมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001) เมื่อเปรียบเทียบกับ ณ จุดเริ่มต้น ขณะเดียวกันสำหรับกลุ่ม

ควบคุมไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (p=0.413) (Table 1) ผลการศึกษาเชิงคุณภาพ พบว่านอกจากการออกแบบการศึกษาเชิงปริมาณดังที่ได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น ผู้วิจัยยังได้ออกแบบการศึกษาเชิงพรรณนาร่วมด้วย ดังจะเห็นได้จากการสนทนากลุ่ม การออกเยี่ยมบ้าน โดยสนทนาร่วมกับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และผู้ให้การดูแลซึ่งเป็นสมาชิกภายในครอบครัว ระเบียบวิธีการสนทนากลุ่มถึงเป็นวิธีการศึกษาวิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษารังนี้ ทั้งนี้ด้วยเหตุที่ว่าช่วยในการเข้าถึงเชิงสัมพันธภาพต่อผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งประเมินประสบการณ์เกี่ยวกับโรคเบาหวานของกลุ่มเป้าหมายและความเหมาะสมของโปรแกรม การสนทนากลุ่มถูกนำมาใช้เพื่อทำความเข้าใจต่อประชากรที่มีต่อการให้ชุดกิจกรรม⁷ และเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับทำความเข้าใจว่าประชากรเป้าหมายมีความคิดเห็นและการเรียนรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมสุขภาพอย่างไร ในการศึกษารังนี้ การสนทนากลุ่มช่วยทำให้เกิดการเสนอแนะ/แนะนำซึ่งความเป็นจริงสำหรับการปรับเปลี่ยนโปรแกรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองเพื่อยกระดับขีดความสามารถเชิงวัฒนธรรมของโปรแกรม

Table 1 Comparison of Fasting plasma glucose and HbA_{1c} between baseline and 24 weeks after entering the program of the experimental (n = 75) and control groups (n=72)

Glycemic control	Baseline ($\bar{X}\pm SD$)	24 weeks ($\bar{X}\pm SD$)	D	T	p-value
Fasting plasma glucose					
Experimental group	147.33±41.44	121.48±31.82	25.85	5.23	0.000
Control group	140.34±46.12	140.57±36.98	-0.79	-0.07	0.473
HbA _{1c}					
Experimental group	8.08±1.87	7.40±1.25	0.68	4.19	0.000
Control group	8.09±1.98	8.02±1.75	0.07	0.31	0.380
HbA _{1c} ^{dt}					
Experimental group	0.13±0.02 ^{dt}	0.14±0.02 ^{dt}	0.01 ^{dt}	4.19	0.000
Control group	0.13±.03 ^{dt}	0.13±0.03 ^{dt}	0.00 ^{dt}	-0.22	0.413

หมายเหตุ^{dt} หมายถึง ข้อมูลที่ได้รับการจัดกระทำข้อมูลด้วยการแปลงข้อมูล (data transformation)

จากการออกเยี่ยมบ้านและสนทนากลุ่มตลอดระยะเวลาของการศึกษา และหลังจากการให้โปรแกรมครบในสัปดาห์ที่ 24 ทั้งของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า กลุ่มควบคุมปรารถนาที่ต้องการสารสนเทศในการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง การขาดสารสนเทศหรือการเข้าถึงสารสนเทศได้อย่างยากลำบากนั้น ถือเป็นอุปสรรคหลักที่

สำคัญต่อการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองทั้งของผู้ป่วยและสมาชิกครอบครัวที่ให้การดูแล ความรู้สึกคับข้องใจเกี่ยวกับความยากลำบากในการเข้าถึงสารสนเทศเมื่อผู้ป่วยกลุ่มทดลองมีความต้องการ พร้อมกับความยุ่งยากในการทำความเข้าใจและการตีความสารสนเทศในการจัดการตนเองนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับพวกเขา ผู้ป่วยโรคเบาหวานส่วนหนึ่งได้

ให้ข้อมูลจากการสนทนากลุ่มความว่า พวกเขาได้รับรู้ว่า เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการมีความยุ่งยากต่อการจัดสรรเวลาเพื่ออธิบายเกี่ยวกับโรคเบาหวาน อาการเจ็บป่วยที่ควรให้ความสำคัญ และการจัดการที่เหมาะสม

นอกจากนั้น สมาชิกครอบครัวที่ให้การดูแลทั้งจาก กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ได้ให้ความคิดเห็นตรงกันว่า มีความต้องการสารสนเทศอย่างมากเกี่ยวกับอาการเจ็บป่วย และภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน แนวทางการจัดการ โรคเบาหวาน กลยุทธ์การเผชิญและผลที่คาดหวัง การสื่อสาร แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม รวมทั้งการ แนะนำจากผู้ที่ประสบความสำเร็จในการดูแลตนเอง สิ่งที สมาชิกภายในครอบครัวควรรู้ และสิ่งที่ควรได้มีการแนะนำแก่ ผู้อื่นที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน

การสนับสนุนจากครอบครัวถือเป็นสิ่งที่มีความ สำคัญสำหรับความสำเร็จในการจัดการตนเอง ครอบครัวเป็น สิ่งที่มีความสำคัญสำหรับวัฒนธรรมคนไทยและถือเป็นสิ่งที่ จำเป็นสำหรับการสนับสนุนครอบครัวในการจัดการ โรคเบาหวาน ประเด็นนี้บ่อยครั้งที่ถูกหยิบยกขึ้นมาอภิปราย ทั้งผู้ป่วยและสมาชิกครอบครัวที่ให้การดูแลได้กล่าวไว้ว่า สมาชิกครอบครัวมีความต้องการสารสนเทศที่มากเพียงพอ เกี่ยวกับโรคเบาหวานและการจัดการตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเด็นนิยมของครอบครัวซึ่งมักเกี่ยวข้องกับอาหาร ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงสำหรับบุคคลที่เป็นโรคเบาหวาน ให้มีภาวะโภชนาการที่เหมาะสม ผู้เข้าร่วมโครงการได้ให้ข้อมูล ว่าสมาชิกภายในครอบครัวขาดความเข้าใจและมักจะพยายาม สร้างบรรยากาศหรือเตรียมให้การดูแลอาหารที่มีไขมันและ ขาดการวางแผนเมนูอาหารสุขภาพ

สรุปและอภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาซึ่งเป็นการประเมินความ มีประสิทธิภาพของโปรแกรมการจัดการโรคเบาหวานด้วย ตนเอง ในประเด็นความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน การควบคุม ระดับน้ำตาลในเลือดและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเบาหวานที่ มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป ที่ไม่สามารถควบคุมโรคเบาหวานชนิด ที่ 2 ได้ ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าผู้เข้าร่วมโครงการใน กลุ่มทดลองมีระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) การควบคุมระดับน้ำตาล ในเลือดสามารถกระทำได้ดียิ่งขึ้น ระดับของกลูโคสในพลาสมา (FPG) และระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสม (HbA_{1c}) ลดลง; $p < 0.001$, $p < 0.001$ ตามลำดับ) ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังการได้รับโปรแกรม นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองมีระดับความรู้ เกี่ยวกับโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.001$) มีระดับน้ำตาลในเลือดทั้งในรูปของ FPG ($p < 0.001$) และ HbA_{1c} ($p < 0.05$) ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ณ สัปดาห์ที่ 24 หลังการได้รับโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาจากกรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษานี้ ผลการ ศึกษาได้พิสูจน์ว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ได้รับความรู้ เกี่ยวกับโรคเบาหวานและการฝึกอบรมทักษะที่จำเพาะจาก โปรแกรมนี้ ช่วยในการเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน พร้อมกับการเกิดประสิทธิภาพแห่งตนสำหรับการนำไป กำหนดเป้าหมายส่วนบุคคลที่สามารถปฏิบัติได้จริง สามารถ ปฏิบัติตนในการควบคุมการเจ็บป่วย การกำกับติดตามความ ก้าวหน้า และปรับตัวในการดำเนินชีวิตเพื่อไปให้ถึงเป้าหมาย ที่ได้กำหนดเอาไว้ นับตั้งแต่การมีประสิทธิภาพแห่งตนที่เพิ่ม มากยิ่งขึ้นแล้ว การมีพฤติกรรมจัดการตนเองอย่างเหมาะสม อันได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย การจัดการตนเองเพื่อ ควบคุมโรค การกำกับติดตามอาการและสัญญาณบ่งชี้ การ ตัดสินใจ และการแก้ไขปัญหาที่ยังถูกพบว่ามีเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้น โปรแกรมจึงมีส่วนช่วยในการส่งเสริมความสำเร็จของ การยกระดับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีมากยิ่งขึ้น

ความรู้ของผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองที่เพิ่ม มากขึ้นนั้น เป็นที่น่าสังเกตว่าอาจเนื่องมาจากการออกแบบ กิจกรรมของโปรแกรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองได้ อย่างเหมาะสม กิจกรรมโปรแกรมที่มีลักษณะเฉพาะ 3 กิจกรรม ประกอบด้วย การให้ความรู้ และทักษะเชิงปฏิบัติ ได้แก่ การจัดแบ่งกลุ่มแต่ละกลุ่มเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับโรค เบาหวานมีขนาดเล็กและเหมาะสม กลุ่มขนาดเล็กทั้ง 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มได้มีการอภิปรายและฝึกปฏิบัติทักษะในการดูแลตนเอง และจัดให้มีการเยี่ยมบ้านของแต่ละบุคคลจำนวน 2 ครั้งตลอด ระยะเวลาของการศึกษา นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ส่งเสริมให้มีการนัดหมายระหว่างช่วงเวลาของการดำเนินกิจกรรมและเปิด โอกาสให้สามารถรับคำปรึกษาได้โดยผ่านทางโทรศัพท์ ในการ ศึกษานี้มีรูปแบบการให้ความรู้ทั้งในรูปแบบเป็นกลุ่มและใน ระดับบุคคล การให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานด้วยการสอน ในระดับกลุ่มถือได้ว่าเป็นชุดกิจกรรมที่มีประสิทธิภาพ⁹ ขณะที่การให้ความรู้ในระดับบุคคลก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มี ประสิทธิภาพสำหรับการยกระดับความรู้ของผู้ป่วยด้วยเช่นกัน ฉะนั้นการให้ความรู้ทั้งในระดับกลุ่มและบุคคลควบคู่กันไป นั้นจะถือได้ว่าเป็นวิธีการที่ดีเยี่ยมอย่างมากต่อการเพิ่มพูน ความรู้ และยังคงมีความเกี่ยวข้องพันกับการยกระดับกิจกรรมของ ผู้ป่วยให้ดียิ่งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ¹⁰ การอภิปรายกลุ่มที่มีขนาดเล็ก ช่วยให้ผู้เข้าร่วมสามารถสอบถามที่เกี่ยวข้องกับโรคและ การดูแลตนเอง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ให้ความสำคัญและ จัดให้มีการให้ความรู้ในระดับกลุ่ม การอภิปรายกลุ่มขนาดเล็ก

และการให้ความสำคัญในระดับบุคคล เหล่านี้ช่วยให้เพิ่มความรู้อีกผู้เข้าร่วมโครงการได้เป็นอย่างมาก

ในการพิจารณาการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดพบว่าในกลุ่มทดลองมีระดับกลูโคสในพลาสมา (FPG) และน้ำตาลเฉลี่ยสะสม (HbA_{1c}) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ ณ จุดเริ่มต้น และกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 24 หลังการได้รับโปรแกรม กลไกที่เกิดขึ้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงของระดับกลูโคสในพลาสมา (FPG) และน้ำตาลเฉลี่ยสะสม (HbA_{1c}) ในทิศทางที่ดีขึ้นสำหรับการศึกษานี้ก็อาจเนื่องมาจากส่วนหนึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพแห่งตนในพฤติกรรมการจัดการตนเองซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของโปรแกรม จากการศึกษาจำนวนมากได้แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์อย่างมากระหว่างประสิทธิภาพแห่งตนและพฤติกรรมเชิงเป้าหมาย¹⁰ ชุดกิจกรรมที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้รับการวางแผนเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพแห่งตนในการกำหนดเป้าหมายส่วนบุคคลที่สามารถกระทำได้จริง การลงมือปฏิบัติเพื่อควบคุมการเจ็บป่วย การกำกับติดตามความก้าวหน้า และการปรับตัวเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญซึ่งมีความเกี่ยวข้องต่อพฤติกรรมการควบคุมโรค นอกจากนี้ผู้ป่วยที่อยู่นอกเหนือจากผู้เข้าร่วมโครงการที่ประสบความสำเร็จในการปฏิบัติตนด้วยพฤติกรรมการจัดการตนเองได้อย่างเหมาะสมได้ถูกเชิญเข้าร่วมโครงการในฐานะตัวแบบ (role models) เพื่อเสริมแรงของการมีประสิทธิภาพแห่งตน ผู้เป็นตัวแบบเหล่านี้จะทำหน้าที่แบ่งปันประสบการณ์กับกลุ่ม รวมทั้งอธิบายถึงทักษะการปรับตัวและแนวทางปฏิบัติตนอย่างไร อีกทั้งสอนให้ได้เรียนรู้ถึงการปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินชีวิตและการกำกับติดตามอาการและสัญญาณบ่งชี้ต่าง ๆ

ผลของการอภิปรายกลุ่มและการเยี่ยมบ้านปรากฏว่า นับตั้งแต่ได้มีการนำโปรแกรมไปปฏิบัติ ผู้เข้าร่วมโครงการในกลุ่มทดลองได้แสดงความเห็นถึงความสนใจต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมสำหรับการบรรลุเป้าหมายของการควบคุมโรค ความสำเร็จในการควบคุมระดับน้ำตาลได้ถูกกำหนดให้เป็นเป้าหมายและนำผู้เข้าร่วมโครงการพัฒนาไปสู่การวางแผนเชิงปฏิบัติการส่วนบุคคล จากผลการศึกษาพบว่าผู้เข้าร่วมโครงการได้บันทึกพฤติกรรมที่ตนได้เปลี่ยนแปลงพร้อมกับอาการและสัญญาณบ่งชี้ลงในคู่มือและนำมาแบ่งปัน/แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับกลุ่มอภิปรายอื่น อีกทั้งผู้เข้าร่วมโครงการตัดสินใจและปรับปรุงแผนเชิงพฤติกรรม การปรับปรุงเป้าหมายได้ถูกบันทึกในคู่มือผู้ป่วยและถูกนำมาแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันภายในกลุ่มอภิปรายถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไม่ได้รับการประเมินด้วยเครื่องมือเชิงปริมาณใน

การศึกษาครั้งนี้ ผลจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมภายใต้ประเด็นการให้ความรู้ด้านการจัดการตนเองช่วยเพิ่มความรู้ให้กับผู้ป่วย ประสิทธิภาพแห่งตนในการจัดการตนเอง และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ซึ่งข้อค้นพบที่ช่วยในการยืนยันนี้ได้ปรากฏจากการศึกษาของเพบว่า ผลจากการศึกษาการส่งเสริมประสิทธิภาพแห่งตน โดยค่าเฉลี่ยของระดับ HbA_{1c} ในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่เข้าร่วมโครงการมีค่าลดลง

สำหรับประเด็นเชิงวัฒนธรรมจากการสนทนากลุ่มและการออกเยี่ยมบ้าน การสนทนากลุ่มเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพของการได้มาซึ่งสารสนเทศเกี่ยวกับการส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนเชิงประสบการณ์ของการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง โดยเป็นการแลกเปลี่ยนทั้งสิ่งที่เป็นประโยชน์และอุปสรรค และเป็นการเสนอรูปแบบจำเพาะสำหรับชุดกิจกรรมในการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง ข้อจำกัดส่วนบุคคลและทรัพยากรทางการเงินถือว่าเป็นอุปสรรคต่อความสำเร็จในการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง บ่อยครั้งที่พบว่าผู้เข้าร่วมโครงการมักจะร้องขอสารสนเทศจากเพื่อนและบุคคลภายในครอบครัวเมื่อยามไม่สามารถได้รับสารสนเทศจากเจ้าหน้าที่/บุคลากรผู้ให้บริการทางสุขภาพหรือเมื่อไม่เข้าใจสารสนเทศที่ได้รับมา

ผู้เข้าร่วมโครงการได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าการบรรลุหรือได้มาซึ่งการปรับตัวทางวัฒนธรรมนั้นควรจะได้มีการส่งเสริมขีดความสามารถเชิงวัฒนธรรมของชุดกิจกรรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสร้างความร่วมมือในการปรับเปลี่ยนประเพณีการรับประทานอาหารที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปจากในอดีต เช่น การรับประทานอาหารจานด่วน การรับประทานจำพวกแป้ง น้ำตาล และไขมันสูง เป็นต้น ทั้งนี้ด้วยการสาธิตการปรุงอาหารและการปรุงรสชาติอาหารที่เข้ากับวิถีชีวิตและขนบธรรมเนียมประเพณี ก่อนที่จะได้นำเสนอต่อสมาชิกครอบครัวให้ได้มีการนำมาปรับใช้ในชีวิตประจำวัน การปรับเปลี่ยนกิจกรรมควรที่จะได้มุ่งเน้นไปที่การเดินทางเร็วและการออกกำลังกายอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเด็นความเครียดที่มีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและเทคนิคสำหรับการจัดการก็ควรจะเน้นที่โปรแกรมการจัดการตนเอง ทั้งนี้ความใส่ใจจากครอบครัวถือว่าเป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อสมาชิกภายในครอบครัวในชุดกิจกรรมการจัดการตนเองและต่อการให้ความรู้ครอบครัวเกี่ยวกับความจำเป็นของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินชีวิต

โปรแกรมการให้ความรู้การจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเองควรจะได้รับคำแนะนำโดยผู้ให้บริการดูแลสุขภาพ เช่น เจ้าหน้าที่สาธารณสุข พยาบาล แพทย์ เป็นต้น ซึ่งเป็นผู้ที่มอง/

ให้ความสำคัญต่อประชากรเป็นเป้าหมายสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเปิดโอกาสให้บุคคลผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ประสบความสำเร็จในการจัดการโรคเบาหวานมาเป็นแบบอย่างช่วยในการถ่ายทอดประสบการณ์เชิงสารสนเทศที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวัน

ข้อจำกัดจากการศึกษาครั้งนี้ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการในการออกแบบและการนำไปปฏิบัติ ตามที่ได้มีการกล่าวไว้ก่อนหน้านี้ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติอาจทำให้มีอำนาจการทดสอบได้มากกว่านี้ ทั้งนี้ถ้าหากว่าขนาดของตัวอย่างมีขนาดที่ใหญ่มากเพียงพอ ในส่วนนี้อาจจะสนับสนุนให้สามารถตรวจวัดความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังการให้ชุดกิจกรรมแทรกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อีกทั้งการควบคุมชุดกิจกรรมแทรกระหว่างการควบคุมอาหารและการออกกำลังกายอาจส่งผลทำให้ขาดความเหมาะสมต่อการประเมินคุณลักษณะโดยอิสระของการควบคุมอาหารหรือการออกกำลังกายเพียงอย่างเดียวหนึ่งที่มีต่อดัชนีชี้วัดทางการแพทย์ เช่น ระดับFPG และ HbA_{1c} เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณตัวอย่างผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันพัฒนาและรับรองคุณภาพโรงพยาบาล. HA Update. นนทบุรี:สถาบันพัฒนาและรับรองคุณภาพโรงพยาบาล. 2552.
2. Anderson, I.M., Nutt, D.J. & Deakin, J.F.W. Evidence-based guidelines for treating depressive disorders with antidepressants: a revision of the 1993 British Association for Psychopharmacology guidelines. *Journal of Psychopharmacology*. 2000, 14, 3 -20.
3. Arunneatara, P. The effects of group process on knowledge, self-care behaviors and diabetic control in NIDDM. (Master's thesis). Mahidol University, Bangkok. 2005.
4. Blanchard, M.A., Rose, L.E, Taylor, J. & Latchaw, L.L. Using a focusgroup to design a diabetes education program for an African American population. *Diabetes Education*, 1999, 25,917-924.

5. Brown, S.A., Garcia, A.A., Kouzekanani, K. & Hanis, C.L. Culturally competent diabetes self-management education for Mexican-Americans. *Diabetes Care*, 2002, 25, 259-268.
6. Cote-Arsenault, D. & Morrison-Beedy, D. Practical advice for planning and conducting focus groups. *Nursing Research*, 1999, 48, 280-283.
7. The Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Report of the Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, 2001, 34(Suppl. 1), 62-66.
8. Howells, L. Self-efficacy and diabetes: Why is emotional 'education' important and how can it be achieved. *Hormone Research*, 2002.
9. Mensing, C.R. & Norris, S.L. Group education in diabetes: effectiveness and Implementation. *Diabetes Spectrum*, 2003, 16, 96-103.
10. Polit, D.F. & Beck, C.T. *Nursing Research: Principle and Methods*. Philadelphia: Lippincott and Wilkins. 2004.

การพัฒนาระบบการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอดส์ โรงพยาบาลปรangkู่ อำเภอปรangkู่ จังหวัดศรีสะเกษ

Development of Care System to Enhance the Quality of Life of AIDS Patients at Prangku Hospital, Prangku District, Sisaket Province

ณัฐชยา ครองยุทธ¹, จีระศักดิ์ เจริญพันธ์², ประวี อ่ำพันธ์³

Nutchaya Krongyut¹, Cheerasak Chareonpun², Pravi Amphant³

Received: 14 September 2014 ; Accepted: 21 December 2014

บทคัดย่อ

เอดส์ เป็นปัญหาสำคัญด้านสาธารณสุข เป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยและเสียชีวิต ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต การพัฒนาระบบการดูแลจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอดส์ โรงพยาบาลปรangkู่ จังหวัดศรีสะเกษ ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน 2556 กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ให้บริการ 10 คนและผู้ป่วยเอดส์ 30 คน รวม 40 คน คัดเลือกแบบเจาะจง เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม สทนากลุ่มสัมภาษณ์เชิงลึก และแบบวัดคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ (WHOQOL-BREF-THAI) โดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยการสรุปเนื้อหาและ เชิงปริมาณ สถิติที่ใช้ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ Paired simples t-test

ผลการวิจัย พบว่า ผู้ป่วยเอดส์มีคุณภาพชีวิตด้านสังคมดีขึ้น จากระดับไม่ดีเป็นระดับปานกลาง และคุณภาพชีวิตโดยรวมจากระดับปานกลางเป็นระดับดี ระบบการดูแล มีทีมสหวิชาชีพในการดูแล มีศูนย์การให้คำปรึกษา มีคู่มือการดูแลเฉพาะโรค มีการพัฒนางานเยี่ยมบ้านโดยผู้ป่วยเอดส์มีส่วนร่วม และจัดบริการแบบ One stop service ผู้ให้บริการ มีการปฏิบัติตามคู่มือและขั้นตอนการดูแลในหน่วยบริการ

โดยสรุป กระบวนการจัดการระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ มีปัจจัยแห่งความสำเร็จ คือ มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจน สร้างทัศนคติและสัมพันธภาพที่ดีระหว่างผู้ให้บริการและผู้รับบริการ ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายในการจัดระบบการดูแล และมีปฏิบัติการดูแลที่ดี ส่งผลให้ผู้ป่วยเอดส์มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ผ่านเกณฑ์คุณภาพในอนาคตได้

คำสำคัญ : ระบบการดูแล คุณภาพชีวิต ผู้ป่วยเอดส์

Abstract

Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS) is a major public health problem that affects the quality of life. It is also a cause of illness and death, Development of a care system is necessary. This action research aimed to develop a care system to improve the quality of life for AIDS patients at Prang Ku Hospital, Sisaket province. The reseosch was conducted between January - April 2013. Ten providers and thirty AIDS patients, were selected purposively as samples. Data were collected by using a questionnaire, group discussions, in-depth interviews and QOL- BREF- THAI questionnaire .This research used a participatory process. The qualitative data were analyzed by using content analysis ,the quanlitative data were analyzed by using content analysis. The quantitative data were analyzed by using statistics; percentile, mean, standard deviation and Paired Samples t-test.

¹ นิสิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดศรีสะเกษ

¹ Graduate students, Master Degree of Public Health, Public Health , Faculty of Public Health, Mahasarakham University

² Assistant Professor, Faculty of Public Health, Mahasarakham University.

³ Provincial health Doctors, Srisaket

The study found that AIDS patients had a better quality of life in society. At the bad to moderate level. The overall quality of life improved from the moderate level to the good level. The care system had a multidisciplinary team of care, counseling center, a guide to specialized care, and home visit development. AIDS patients were involved. They provided a one stop service. The providers had to follow a guide and a care procedure in the care unit.

In conclusion, the key success factors of the care management process for AIDS patients included the assignment of main policy, setting positive attitudes and good relationships between service providers and patients, The participation of all parties in the care system and good care operating practices resulted in an improved quality of life of AIDS patients.

Keywords : Care System, quality of life, AIDS patients

บทนำ

โรคเอดส์หรือโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง (Acquired Immunodeficiency Syndrome-AIDS) เป็นโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ที่เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของหลายประเทศ UNAIDS¹ คาดการณ์ว่า ในสิ้นปี 2555 จะมีผู้ติดเชื้อเอชไอวีทั่วโลกประมาณ 34.2 ล้านคน สำหรับประเทศไทย สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข² คาดการณ์เมื่อ 30 กันยายน 2555 ว่ามีผู้ติดเชื้อเอชไอวีทั้งสิ้น 1.2 ล้านคน เป็นผู้ป่วยเอดส์ 376,274 คนและคาดว่าผู้ติดเชื้อรายใหม่ 10,000 คน/ปี โรคเอดส์แม้มีแนวโน้มการเสียชีวิตลดลงเนื่องจากการได้รับยาต้านไวรัสเอดส์ ผู้ป่วยเอดส์ต้องได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่อง เพื่อการมีคุณภาพชีวิตที่ดี ลดภาวะแทรกซ้อนจากโรคติดเชื้อฉวยโอกาส การให้การดูแลผู้ป่วยเอดส์ในสถานบริการสาธารณสุขส่วนใหญ่ เป็นการดูแลตามอาการและประคับประคอง เพื่อป้องกันและรักษาการติดเชื้อโรคฉวยโอกาส ซึ่งยังไม่ประสบความสำเร็จ เมื่อมีการติดเชื้อโรคฉวยโอกาส ผู้ป่วยมักจะมีอาการลุกลามและรุนแรงขึ้น เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอย่างรวดเร็ว จากแผนยุทธศาสตร์ป้องกันและแก้ไขปัญหาเอดส์แห่งชาติ พ.ศ. 2555-2559³ มีเป้าหมายสำคัญ คือ ไม่มีผู้ติดเชื้อเอชไอวีรายใหม่ ไม่มีการเสียชีวิตจากเอดส์ ไม่มีการตีตราและเลือกปฏิบัติ เพื่อให้ผู้ป่วยเอดส์มีคุณภาพชีวิตที่ดีสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้

ผู้ป่วยเอดส์ หมายถึง ผู้ติดเชื้อเอชไอวีที่มีอาการบ่งชี้ว่ามีภาวะภูมิคุ้มกันเสื่อม โดยตรวจพบโรคหรือกลุ่มอาการ 1 ใน 28 โรค ตามการจัดกลุ่มของ CDC⁴ คุณภาพชีวิต หมายถึงระดับการมีชีวิตที่ดี มีความสุข และมีความพึงพอใจในชีวิตทั้งทางร่างกาย จิตใจ อารมณ์ และการดำเนินชีวิตของบุคคลในสังคม⁵ ผู้ป่วยเอดส์จะได้รับผลกระทบทั้งทางร่างกาย จิตใจ สังคมเศรษฐกิจและจิตวิญญาณ⁶ โรงพยาบาลปรังค์กู มีการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ตามแนวทางของสำนักงาน

หลักประกันสุขภาพแห่งชาติ 4 ด้าน คือ 1)การให้การดูแลรักษา รวมยาต้านไวรัสเอดส์ 2)การตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อการวินิจฉัยและติดตามการรักษา 3)การให้บริการให้คำปรึกษา 4)การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ จากรายงานประจำปี 2554⁷ พบว่า ความครอบคลุมการให้บริการยาต้านไวรัสเอดส์แก่ผู้ป่วยเอดส์เพียงร้อยละ 95 ผู้ป่วยเอดส์ได้รับยาป้องกันการติดเชื้อโรคฉวยโอกาสร้อยละ 84 ความครอบคลุมในการตรวจทางห้องปฏิบัติการร้อยละ 76.50 อัตราการใช้ถุงยางอนามัยในกลุ่มผู้ป่วยเอดส์เพียงร้อยละ 58 จากการสำรวจ พบว่าผู้ป่วยเอดส์ส่วนใหญ่จะเข้ารับบริการดูแลรักษาที่ต่อเมื่อมีอาการรุนแรง ส่วนหนึ่งรับการรักษาไม่ต่อเนื่อง ทำให้มีเกิดโรคติดเชื้อฉวยโอกาส ผู้ป่วยกลัวสังคมรังแกว่าและรังเกียจ ครอบครัวไม่ยอมรับ มีปัญหาทางสังคมและเศรษฐกิจ

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอดส์โรงพยาบาลปรังค์กู อำเภอปรังค์กู จังหวัดศรีสะเกษ

รูปแบบการศึกษา

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research)

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 วางแผน

ระยะที่ 1 ศึกษาสถานการณ์และปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องในการดูแลผู้ป่วยเอดส์ โดยการประชุมทีมผู้ให้บริการประกอบด้วย แพทย์ เภสัชกร นักเทคนิคการแพทย์ พยาบาลวิชาชีพ ผู้ให้คำปรึกษา และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง โดยทบทวนบริบทการดูแล และกำหนดเป้าหมาย

ระยะที่ 2 จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ทีมผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอดส์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ระดมความคิด วิเคราะห์ และร่วมจัดทำแผนโดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วม

ขั้นตอนที่ 2 ปฏิบัติการ

ระยะที่ 3 ปฏิบัติการตามแผน นำแผนกิจกรรมแนวทางการดูแลไปปฏิบัติ ดำเนินการเป็นวงจร คือ วางแผน ปฏิบัติการ สังเกต สะท้อนการปฏิบัติ ปรับปรุงและพัฒนา

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผล

ระยะที่ 4 ประเมินผล ประชุมกลุ่มย่อย (focus group) และสัมภาษณ์เชิงลึก (indepth-interview) กลุ่มตัวอย่าง เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม และประชุมสรุปเพื่อถอดบทเรียน

ประชากร คือ บุคลากรผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอดส์ คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากระยะเวลาจำกัด และกำหนดคุณสมบัติ ด้านผู้ให้บริการ คัดเลือกเฉพาะผู้ที่ผ่านการอบรมการดูแลผู้ป่วยเอดส์ ตามสหวิชาชีพและเป็นตัวแทนหน่วยงานละ 1 คน ได้ 10 คน ด้านผู้ป่วยเอดส์ เฉพาะผู้ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล ต่อเนื่องไม่เจ็บป่วยและความสมัครใจจำนวน 30 คนรวม 40 คนพื้นที่โรงพยาบาลปรังค์กู่ อำเภอปรังค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ ระยะเวลาระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน 2556

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย

ชุดที่ 1 แบบสอบถามสำหรับผู้ให้บริการ แบ่งเป็น 4 ตอน ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ตอนที่ 2 การมีส่วนร่วมในการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ ตอนที่ 3 การจัดระบบการดูแลของหน่วยบริการ ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

ชุดที่ 2 แบบสอบถามสำหรับผู้ป่วยเอดส์ แบ่งเป็น 4 ตอน ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 ความรู้ ตอนที่ 3 พฤติกรรมการปฏิบัติตัว ตอนที่ 4 พฤติกรรมการมีส่วนร่วม

โดยนำแบบสอบถามทั้ง 2 ชุดไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ชุด/กลุ่ม ในโรงพยาบาลชุมชน จังหวัดศรีสะเกษ ได้ความเชื่อมั่น > 0.75 แล้วนำมาใช้เก็บข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

2. แบบวัดคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อฉบับภาษาไทย WHOQOL-BREF_THAI สถิติที่ใช้ เชิงปริมาณ ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) จาก การสังเกต การสนทนากลุ่มย่อย และสัมภาษณ์เชิงลึก

ผลการศึกษา

1. สถานการณ์บริบทในการดูแลผู้ป่วยเอดส์

1.1 ข้อมูลทั่วไป

กลุ่มผู้ให้บริการ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 90 กลุ่มอายุ 40-49 ปี ร้อยละ 40 รองลงมา คืออายุ 30-39 ปี มีอายุเฉลี่ย 32.23 (S.D=7.88) มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 80 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 90 เป็นพยาบาลวิชาชีพ ร้อยละ 70 ประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปี ร้อยละ 80 เคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับโรคเอดส์ ร้อยละ 70 ได้รับข่าวสารด้านโรคเอดส์ จากวารสาร ร้อยละ 90 และจากเว็บไซต์ ร้อยละ 80 ตามลำดับ สำหรับการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ อยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 80 การจัดระบบการดูแลของหน่วยบริการ อยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 90 ข้อเสนอแนะในการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์ คือ ควรมีการอบรมให้ความรู้แก่บุคลากรทุกระดับ ควรปรับปรุงระบบการให้คำปรึกษา ให้ผู้ป่วยได้เข้าถึงบริการเร็วขึ้น และจัดบริการแบบ One stop service

ผู้ป่วยเอดส์ ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 60 กลุ่มอายุ 40-49 ปี ร้อยละ 50 รองลงมา คืออายุ 30-39 ปี คิดเป็นร้อยละ 23.33 มีอายุเฉลี่ย 41.53 ปี (S.D=8.89) สถานภาพหม้าย ร้อยละ 43.34 ระดับการศึกษาประถมศึกษา ร้อยละ 63.33 อาชีพเกษตรกร ร้อยละ 66.67 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 4,650 บาท (Median=2000±S.D) ระยะเวลาการป่วย 6-10 ปี ร้อยละ 50 ผู้ดูแลส่วนใหญ่ เป็นบิดา/มารดาและสามี/ภรรยา ร้อยละ 30 เท่ากัน รองลงมาคือพี่/น้อง/ญาติ ร้อยละ 26.67 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางมาโรงพยาบาล น้อยกว่า 500 บาท ร้อยละ 90 ภาวะสุขภาพ แข็งแรง ร้อยละ 90

ด้านความรู้ ผู้ป่วยเอดส์ส่วนใหญ่มีความรู้ต่ำ (<ร้อยละ 60) ร้อยละ 60 ความรู้ระดับ ปานกลาง ร้อยละ 10 และระดับมาก ร้อยละ 30

ด้านการปฏิบัติตัวอย่างถูกต้อง ผู้ป่วยเอดส์มีการปฏิบัติตัวในระดับมาก คือ การดูแลสุขภาพทางกาย การรับประทานยา และการออกกำลังกาย ระดับปานกลาง คือ การมาตรวจรักษาตามนัด และระดับน้อย คือ การสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ และการผ่อนคลายความเครียด

ด้านการมีส่วนร่วมต่อระบบการดูแล พบว่า อยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 100

ด้านคุณภาพชีวิต ผู้ป่วยเอดส์มีคุณภาพชีวิต ด้านร่างกาย จิตใจ ด้านสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตโดยรวม อยู่ในระดับปานกลาง แต่ด้านสังคม อยู่ในระดับไม่ดี (คะแนน = 7)

1.2 ระบบการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ในโรงพยาบาล ปรังค์กู

1) ระบบการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ การให้บริการมุ่งที่ผลการรักษา ยังขาดความเข้าใจถึงจิตใจผู้ป่วยเอ็ดส์ที่ลึกซึ้งและละเอียดอ่อน มีการละเมิดสิทธิและการให้บริการที่ล่าช้า ขาดการทบทวน กระบวนการดูแลทำให้ผู้ป่วยขาดโอกาสในการรับบริการอย่าง เหมาะสมกับสภาพการเจ็บป่วย

2) ศักยภาพของบุคลากรผู้ให้บริการยังไม่ครบถ้วนทุกมิติ ขาดความต่อเนื่อง เน้นการดูแลด้านร่างกายมากกว่า การให้คำปรึกษายังไม่ครอบคลุมประเด็นปัญหา ผู้ให้บริการขาดความรู้และมีจำนวนน้อย ไม่ได้กำหนดบทบาทหน้าที่ที่ชัดเจน

3) ขาดคู่มือในการปฏิบัติงาน ระบบฐานข้อมูลผู้ป่วยเอ็ดส์ ยังไม่ได้รับการพัฒนา ขาดการส่งต่อข้อมูลและเชื่อมโยงเพื่อการให้การดูแลอย่างมีคุณภาพ เหมาะสม

4) สถานที่ในการให้บริการ ถึงแม้จะจัดไว้เป็นอย่างดีเป็นส่วน แต่ผู้ป่วยเอ็ดส์ยังต้องไปรับบริการยังหน่วยบริการอื่น ๆ เช่น ห้องเจาะเลือด ห้องยา ยังไม่สามารถจัดบริการแบบจุดเดียวได้

5) ผู้ป่วยเอ็ดส์ ยังขาดความรู้เรื่องโรคและการปฏิบัติตัว การเข้าถึงระบบการดูแลล่าช้า มีอาการเจ็บป่วยรุนแรง ถูกละเมิดสิทธิและกีดกันการเข้ารับบริการ ไม่มีงานทำ สุขภาพอ่อนแอ ขาดผู้ดูแล บางรายถูกทอดทิ้ง ครอบครัวรังเกียจ มีปัญหาสุขภาพจิต มีอุบัติการณ์ผู้ป่วยเอ็ดส์ฆ่าตัวตายสำเร็จ 1 ราย

1.3 ความต้องการการดูแลของผู้ป่วยเอ็ดส์จากการประชุมกลุ่มย่อย พบว่า ผู้ป่วยเอ็ดส์ต้องการการปฏิบัติที่เสมอภาค เท่าเทียมสิทธิแห่งความเป็นมนุษย์ ต้องการคำแนะนำและให้กำลังใจ อยากให้สังคมยอมรับ และอยากมีรายได้เพื่อดูแลครอบครัว ดังคำกล่าวของ D002 “เวลาไปทำฟันคุณหมอบใจไว้คิวหลังสุดทั้ง ๆ ที่มาก่อน ต้องรอนานไป”

2. ผลการพัฒนาการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์

หลังการพัฒนาการดูแลเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์ในโรงพยาบาลปรังค์กู โดยการมีส่วนร่วมของผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอ็ดส์ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (มกราคม- เมษายน 2556) พบว่า

1. มีการปรับปรุงการจัดบริการให้คำปรึกษา โดยมีศูนย์ (Centre) พัฒนาศักยภาพพยาบาลวิชาชีพทุกหน่วยงานในการให้คำปรึกษา มีศูนย์ข้อมูลการให้บริการคำปรึกษา เพิ่มบริการในคลินิกโรคเอ็ดส์ ทั้งรายบุคคลและรายกลุ่ม เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับคำแนะนำอย่างเป็นองค์รวม เพิ่มกิจกรรมพบกลุ่มแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ นำแบบประเมินความเครียดมาใช้ประเมินสภาพจิตใจของผู้ป่วยเป็นระยะ ๆ เพื่อจัดกิจกรรมเสริมพลัง ส่งเสริมกำลังใจ ส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่มผู้ป่วยเอ็ดส์

2. พัฒนาระบบการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ ปรับปรุงขั้นตอนการให้บริการในคลินิก เพิ่มกิจกรรมในการดูแลให้ครอบคลุมทั้งด้านร่างกาย จิตใจ สังคม กำหนดกิจกรรมการเยี่ยมบ้านโดยทีมสหวิชาชีพและแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ สนับสนุนกลุ่มแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ ทั้งด้านงบประมาณ ความสะดวก การมีส่วนร่วมในระบบการดูแล และเสริมสร้างพลังใจในการดำรงชีวิต เพิ่มบุคลากรให้เพียงพอในวันคลินิก และประสานข้อมูลระหว่างหน่วยงานเพื่อให้บริการอย่างต่อเนื่องและมีคุณภาพ

3. จัดทำคู่มือในการปฏิบัติงาน ปรับปรุงผังให้การดูแลในคลินิก กำหนดกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพ มีกิจกรรมพบกลุ่มแกนนำในวันคลินิก ให้คำปรึกษาเชิงลึก เพื่อเสริมสร้างพลังอำนาจ ส่งเสริมกำลังใจ เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิต

4. ปรับปรุงและจัดทำ Flow chart การให้การดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ เพื่อสนองตอบต่อความเจ็บป่วยและความต้องการการดูแล เพิ่มการเข้าถึงบริการอย่างรวดเร็ว สอดคล้องสภาพปัญหา

5. ปรับปรุงโครงสร้างและจัดองค์กรในการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ มีคณะกรรมการเอ็ดส์ระดับโรงพยาบาล ประกอบด้วยทีมสหวิชาชีพ มีแพทย์รับผิดชอบเฉพาะ แกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ร่วมเป็นกรรมการ มีการจัดทำแผนงานประจำปีเพื่อพัฒนาระบบการดูแลอย่างต่อเนื่อง

ผลเชิงปริมาณ**ด้านผู้ให้บริการ**

1. คะแนนเฉลี่ยการมีส่วนร่วมในการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์

Table 1 Comparison the average scores of service providers' participation (n=10)

The participation	n	Mean	S.D.	Result
Before	10	1.88	0.54	Medium
After	10	2.34	0.46	High

2. คะแนนเฉลี่ยการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยเอดส์

Table 2 Comparison the average scores of service providers in Care System practice (n=10)

Care Services System	n	Mean	S.D.	Result
Before	10	2.15	0.5	Medium
After	10	2.40	0.38	High

ด้านผู้ป่วยเอดส์

3. คะแนนเฉลี่ยความรู้ของผู้ป่วยเอดส์

Table 3 Comparison the average scores of AIDS patients' knowledge. (n=30)

Knowledge	Mean	S.D.	df	95%CI t	p-value
Before	7.66	3.02	29	9.01-6.64 -13.51	< 0.001*
After	15.50	1.30	29		

* Statistical significance at $p < 0.05$

4. คะแนนเฉลี่ยด้านการปฏิบัติตัวของผู้ป่วยเอดส์

Table 4 Comparison the average scores of AIDS patients' behavior. (n=30)

Behavior	Mean	S.D.	df	95%CI t	p-value
Before	2.68	0.29	29	0.202 - 0.055 -3.57	< 0.001*
After	2.80	0.37	29		

* Statistical significance at $P < 0.05$

5. คะแนนเฉลี่ยด้านการมีส่วนร่วมของผู้ป่วยเอดส์

Table 5 Comparison the average scores of AIDS patients' participation. (n=30)

	Mean	S.D.	df	95%CI t	p-value
Before	1.46	0.34	29	0.847 - 0.599 -11.97	< 0.001*
After	2.18	0.31	29		

* Statistical significance at $P < 0.05$

6. คะแนนเฉลี่ยคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอดส์

Table 6 Comparison the average score of quality of life in AIDS Patients. (n=30)

Quality of life	Mean	S.D.	df	95%CI t	p-value
Before	2.73	0.33	29	0.937 - 0.704 -14.43	< 0.001*
After	3.55	0.40	29		

* Statistical significance at P < 0.05

7. ระดับคะแนนคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอดส์ (รายด้าน)

Table 7 The scores of AIDS Patients' quality of life before and after the Development of Care System (each part)

Quality of life	before		After	
	score	Result	Score	result
Physical Health	18	medium	21.50	medium
Mental Health	15	medium	17.50	medium
Social	7	low (bad)	9.60	medium
Environmental	20	medium	28.73	medium
Overall quality of life	95	medium	114	high (good)

จากการสรุปและถอดบทเรียน พบปัจจัยแห่งความสำเร็จของการดำเนินการ ดังภาพประกอบ 1 (Figure 1) ดังนี้

1. นโยบาย (Policy) ผู้บริหารให้ความสำคัญในการตอบสนองต่อนโยบาย กำหนดนโยบายการจัดระบบการดูแลสนับสนุนการพัฒนา งบประมาณ วัสดุ อุปกรณ์ และให้คำปรึกษา อย่างสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง ดังคำพูดของ แพทย์ผู้ดูแลที่ว่า “ผู้ป่วยมาแล้ว ก็ควรให้ได้รับยาไป ดีแล้วที่เค้ามา ดีกว่าเค้าขาดยา และไม่มียากิน” “เรามีหน้าที่ให้เค้าได้รับยาเร็วที่สุด เค้าจะได้ไม่ป่วย”

2. สัมพันธภาพ (Relationship) การสร้างสัมพันธภาพที่ดีในการจัดระบบการดูแล ระหว่างทีมผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอดส์ จัดสถานที่ในการให้บริการอย่างเป็นสัดส่วน สนับสนุนการดำเนินกิจกรรมของกลุ่มแกนนำผู้ป่วยเอดส์ มอบหมายบทบาทหน้าที่ให้แกนนำเป็นส่วนหนึ่งในระบบการดูแล ดังคำพูดของพยาบาลวิชาชีพที่ว่า “กลุ่มแกนนำเค้าไปเยี่ยมผู้ป่วย ๆ บอกว่าให้กลุ่มรับยาแทนให้ด้วย”

3. ทศนคติและความตั้งใจ (Attitude/Attention) การมีทศนคติและความตั้งใจที่ดี ของผู้ให้บริการในการจัดระบบ

การดูแล มีการทบทวนกระบวนการ ปรับปรุงแนวทาง รวมทั้งความร่วมมือกับผู้ป่วยเอดส์ พัฒนาระบบการดูแล มีการส่งเสริมกำลังใจให้กลุ่มแกนนำ ผู้ป่วยเอดส์ โดยคำนึงถึงหลักสิทธิมนุษยชนและสิทธิผู้ป่วยเป็นสำคัญ

4. เครือข่าย (Network) การมีเครือข่ายการดูแลร่วมกันของผู้ให้บริการ และ ผู้ป่วยเอดส์ มีการจัดทำแผนงาน/โครงการ ร่วมกัน กลุ่มแกนนำผู้ป่วยเอดส์เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการดูแลร่วมกัน สนับสนุนการทำกิจกรรมของกลุ่มแกนนำผู้ป่วยเอดส์ ดังคำพูดของกลุ่มแกนนำ ที่ว่า “คนไข้รหัส D006 ลงเยี่ยมบ้านแล้ว เค้าบอกไม่พร้อมจะกินยาต้านไวรัส เอดส์ ตามคำแนะนำ”

5. การปฏิบัติที่ดี (Good practice) ผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอดส์ มีการปฏิบัติการทำงาน ร่วมวางแผน สร้างแนวทางปรับปรุงระบบการดูแล ตามสิทธิประโยชน์ และ ตามมาตรฐานการดูแลรักษา มีผลการปฏิบัติงานที่ดี และนำมาพัฒนาเป็นผลงานวิชาการ ส่งเข้าประกวดระดับกระทรวง ดังคำพูดของพยาบาลวิชาชีพที่ว่า “ผลงาน CQI ที่นำไปเสนอที่กระทรวง ได้รางวัลพร้อมใบเกียรติบัตร”

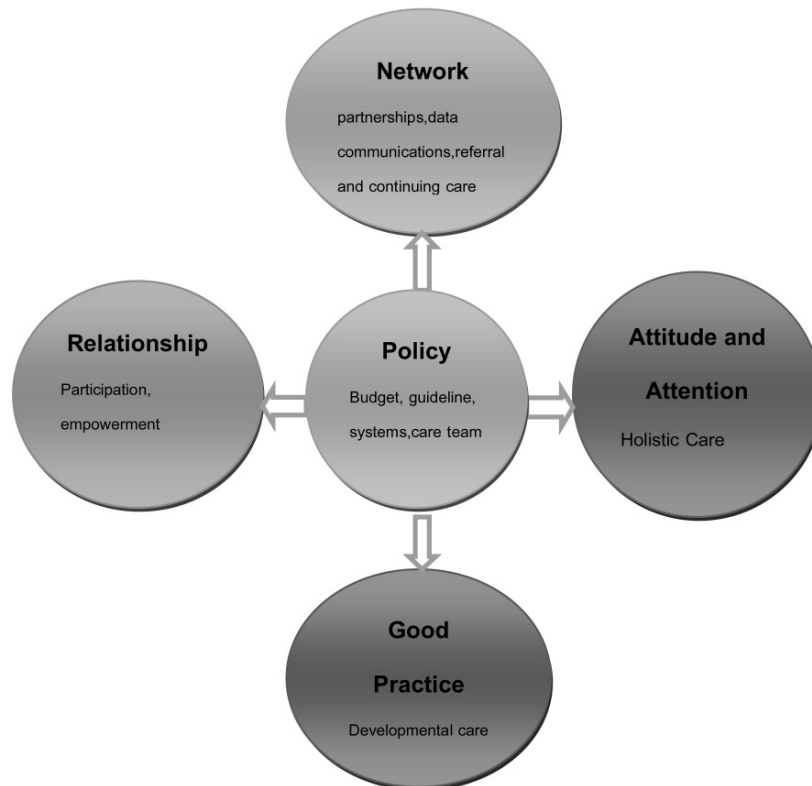


Figure 1 Development of care system to enhance the quality of life of Aids patients model at Prangku Hospital, Prangku District, Sisaket Province

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอดส์ ที่รับบริการในโรงพยาบาลปรังค์กู จังหวัดศรีสะเกษ พบว่า ผู้ป่วยเอดส์ทุกคนมีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง อันเนื่องมาจากพยาธิสภาพของโรค ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่ำ มีสภาวะการเจ็บป่วยและติดเชื้อโรคอื่น ๆ ง่าย ทำให้สภาพจิตใจมีความวิตกกังวล มีความรู้สึกไม่พึงพอใจในตนเอง รู้สึกด้อยค่า หลีกหนีสังคมแยกตัวเอง ซึ่งส่งผลต่อสภาวะจิตใจ⁹

ด้านระบบการดูแล ผู้ป่วยเอดส์ พบว่า กลุ่มผู้ให้บริการมีการปฏิบัติดูแลตามแนวทาง มีการให้คำแนะนำการให้คำปรึกษา เฉพาะกลุ่ม เพื่อสนองต่อการเจ็บป่วยทางด้านร่างกาย และโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น มีการจัดกิจกรรมตรวจวินิจฉัยตามเกณฑ์ การให้คำแนะนำการรับประทานยา โดยจะพบว่า ผู้ป่วยมีพฤติกรรมการปฏิบัติตัวด้านการดูแลสุขภาพกาย การรับประทานยา และการออกกำลังกาย อยู่ที่ระดับมาก แต่กิจกรรมการที่มีการให้บริการน้อย คือ กิจกรรมการส่งเสริมสุขภาพ เช่น การดูแลเรื่องโภชนาการ การใช้สมุนไพร การทำสมาธิ⁹

การพัฒนาการดูแลผู้ป่วยเอดส์ โดยใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมของผู้ให้บริการและผู้รับบริการ

ทำให้มีการทำงานอย่างมีเป้าหมาย มีการทบทวน วิเคราะห์ และวางแผนร่วมกัน หน่วยมีส่วนร่วมในการวางระบบ มีทีมสหวิชาชีพ มีเครือข่ายความร่วมมือ คือ ผู้ให้บริการและผู้ป่วยเอดส์ มีการทบทวนแนวทาง และวางแผนทางปฏิบัติ เพื่อให้ผู้ป่วยเอดส์ได้รับบริการที่ครบถ้วน ถูกต้องตามเกณฑ์ตามมาตรฐานสิทธิประโยชน์ ได้รับการดูแลแบบองค์รวมครอบคลุมทั้งด้านร่างกาย จิตใจ สังคม และจิตวิญญาณ ส่งเสริมให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงบริการ การดูแลตามมาตรฐาน ส่งเสริมกำลังใจ เพื่อให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดี รู้สึกมีคุณค่าในตนเอง มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือเพื่อนสมาชิกผู้ป่วย กล้าเผชิญการเจ็บป่วยและลดภาระทางสังคม สามารถทำงานได้ มีสภาพคุณภาพชีวิตด้านสังคม ดีขึ้น จากระดับไม่ดี เป็นระดับปานกลาง¹⁰

การพัฒนาด้านความรู้ การปฏิบัติ การมีส่วนร่วม ในการจัดระบบบริการ ทำให้เกิดความเข้าใจและเกิดทักษะการปฏิบัติ ผู้ป่วยเอดส์ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการรักษา จากผู้ให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มเข้ารับบริการและระหว่างการรับบริการแต่ละครั้งและพบแกนนำผู้ติดเชื้อ มีการจัดกิจกรรมกลุ่ม จัดการอบรมให้ความรู้ มีการติดตามประเมินการรักษา แจ้งผลเลือดทราบสถานะทางสุขภาพเป็นระยะ ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคเอดส์มีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับ ดี¹¹

การศึกษาระดับคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์ โดยการเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยเอ็ดส์ และการจัดกิจกรรมสนทนากลุ่มย่อย การใช้กระบวนการสะท้อนคิดและการเสริมพลังอำนาจ ทำให้ผู้ป่วยเอ็ดส์ได้รับรู้ตนเอง ผลกระทบจากการไม่เปิดเผยตนเอง ต่อชุมชน การหลบหนีสังคม การถูกตีตราจากสังคม และการมีรายได้น้อย มีผลต่อคุณภาพชีวิต หากมีการจัดระบบบริการดูแลจากทีมสหวิชาชีพ โดยการมีส่วนร่วมทั้งระบบ ทำให้ผู้ป่วยโรคเอ็ดส์รู้สึกมีคุณค่า มีกำลังใจและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น¹²

การนำกระบวนการเสริมสร้างพลังอำนาจ มาใช้ในการพัฒนาศักยภาพผู้ป่วยเอ็ดส์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิต ผู้ป่วยเอ็ดส์ ทั้งด้านจิตวิญญาณ คือการมีสุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่เกิดภาวะแทรกซ้อน มีพฤติกรรมดูแลตนเองที่เหมาะสม และด้านจิตวิสัย คือ มีความมั่นใจในตนเอง รู้สึกตนเองมีคุณค่า ได้รับการยอมรับ มีความพึงพอใจกับความเป็นอยู่ในปัจจุบัน และยอมรับกับความเป็นจริง จะส่งผลทำให้คุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์ดีขึ้น¹³

ระบบบริการดูแลรักษาผู้ติดเชื้อเอชไอวีและผู้ป่วยเอ็ดส์ จำเป็นจะต้องมีความร่วมมือระหว่างสถานบริการ ผู้ให้บริการ ผู้ป่วย การสร้างการยอมรับและการประสานความร่วมมือของบุคลากรสาธารณสุข แกนนำกลุ่มผู้ป่วยเอ็ดส์ สร้างสัมพันธภาพและ สร้างความเข้าใจที่ถูกต้อง ลดการรังเกียจ การปรับทัศนคติที่ดี การจัดโครงสร้างองค์กรที่รองรับการดำเนินงานบริการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ โดยการร่วมมือของผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนการพัฒนาการดำเนินการการมีส่วนร่วมในการกำหนดปัญหา แนวทางแก้ไข และร่วมมือกำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อพัฒนาความสามารถการให้บริการ มีการพัฒนาองค์ความรู้ มีการจัดตั้งคณะกรรมการเอ็ดส์ของโรงพยาบาล เพื่อการพัฒนาบริการอย่างเป็นรูปธรรม¹⁴

ข้อเสนอแนะ

1. เชิงนโยบาย ผู้บริหาร ควรกำหนดนโยบายในการจัดการบริการในกลุ่มผู้ป่วยเอ็ดส์ กำหนดระบบการจัดการดูแลให้ครอบคลุม 4 มิติ คือ ด้านร่างกาย ควรมีการคัดกรองโรคติดเชื้อฉวยโอกาสให้ครอบคลุม ด้านจิตใจ การให้บริการคำปรึกษาอย่างเข้าถึง ลึกซึ่งถึงปัญหาอย่างรอบด้าน จัดบริการให้คำปรึกษาอย่างครอบคลุมบริการในหน่วยงาน ด้านสังคม และเศรษฐกิจ มีการประเมินความจำเป็นและความต้องการการช่วยเหลือทั้งทางสังคม และรายได้ ปัญหาการถูกกีดกันสิทธิ์ หรือความไม่เท่าเทียม หรือการถูกสังคมรังเกียจ เนื่องจากเป็นโรคเรื้อรัง ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง มีผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและครอบครัว กระบวนการทำงานควรเน้นการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง และควรมีคณะกรรมการดูแล

สุขภาพและจัดระบบบริการอย่างชัดเจน รวมทั้งการพัฒนาศักยภาพบุคลากร ผู้ทำหน้าที่ในการให้บริการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ ให้ได้รับความรู้ด้านต่าง ๆ อยู่เสมอ เพื่อนำไปสู่การพัฒนากระบวนการดูแลผู้ป่วยเอ็ดส์ ที่มีคุณภาพที่ดีต่อไป

2. เชิงวิชาการ

2.1 ผู้รับบริการ ควรได้รับการพัฒนาศักยภาพในการดูแลสุขภาพตนเอง ส่งเสริมให้มีความรู้ มีการร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การจัดการอย่างเป็นระบบ มีการจัดกลุ่มเครือข่ายในการช่วยการดูแลสุขภาพในกลุ่มสมาชิก มีการดูแลอย่างครอบคลุมในพื้นที่ จะทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการดูแลอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืนได้

2.2 การพัฒนาแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ที่เป็นอาสาสมัคร สำหรับให้คำปรึกษา ควรมีการปรับเปลี่ยนทัศนคติให้เกิดการยอมรับผู้ป่วยเอ็ดส์ในระดับโรงพยาบาลและขยายสู่ในชุมชน

2.3 ควรมีการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรและแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การจัดการระบบการดูแลมีคุณภาพดีขึ้นและส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์

3. เชิงการจัดการ

3.1 หน่วยบริการ ที่เกี่ยวข้องในการจัดระบบการดูแล ควรมีการใช้แนวทาง หรือ คู่มือเป็นเกณฑ์ในการจัดระบบบริการ ให้เป็นแนวทางเดียวกัน เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้ป่วยเอ็ดส์ รวมทั้งเชื่อมโยงให้ครอบคลุมสู่ระดับเครือข่าย มีการส่งต่อข้อมูลเพื่อการดูแลอย่างต่อเนื่อง

3.2 บุคลากรสุขภาพควรคงไว้ซึ่งสัมพันธภาพที่ดี ส่งเสริมพลังอำนาจ โดยการให้กำลังใจ คอยแนะนำให้คำปรึกษา เพื่อให้ผู้ป่วยเอ็ดส์เกิดความเข้มแข็ง มีความมั่นใจในการเข้ารับการรักษาพยาบาล จะทำให้ผู้ป่วยเอ็ดส์ สามารถเผชิญปัญหาได้อย่างเหมาะสม สามารถอยู่ในสังคมได้อย่างปกติสุข ซึ่งจะทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้

4. การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ คือ

4.1 เป็นคู่มือ และแนวทาง ในการจัดบริการดูแลรักษาผู้ป่วยเอ็ดส์

4.2 ผู้ปฏิบัติ สามารถนำไปใช้ ในการดูแลรักษาผู้ป่วยเอ็ดส์

4.3 หน่วยงานอื่น สามารถนำไปใช้ ในการจัดระบบการดูแลผู้ป่วยโรคเรื้อรัง อื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ข้อจำกัดในการวิจัยครั้งนี้ คือ ระยะเวลา และกลุ่มตัวอย่างน้อย จึงควรมีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่มีคุณภาพ โดย

1. ควรศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอ็ดส์ เพื่อการพัฒนาคุณภาพการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยเอ็ดส์อย่างครบถ้วน ต่อเนื่อง
2. ควรศึกษาหารูปแบบ ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเอ็ดส์
3. ควรศึกษาการพัฒนาศักยภาพแกนนำผู้ป่วยเอ็ดส์ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ติดเชื้อเอชไอวีและผู้ป่วยเอ็ดส์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้อุดหนุนการดำเนินการ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลปรางค์กู่ อำเภอปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ ที่อนุเคราะห์ให้เก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภายในโรงพยาบาล ขอขอบคุณผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลในการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และนายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดศรีสะเกษ ที่ให้คำชี้แนะในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. United Nation Program on HIV/AIDS (UNAIDS). AIDS epidemic update [online]. Available from : http://www.unaids.org/en/Knowledge_Centre/HIVData/EpiUpdate/EpiUpdArchive/2009/default.asp. Assessed June 12, 2013.
2. สำนักวิชาพยาบาล กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. รายงานข้อมูลระบาดวิทยาประจำปี 2555 [online] ได้จาก : <http://www.boe.moph.go.th>. [สืบค้นเมื่อ April 5, 2013.
3. คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการป้องกันและแก้ไขปัญหาเอ็ดส์แห่งชาติ. ยุทธศาสตร์ป้องกันและแก้ไขปัญหาเอ็ดส์แห่งชาติ พ.ศ. 2557-2559. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2555.
4. ประพันธ์ ภานุภาค. โรคเอ็ดส์และการดำเนินโรค. เอกสารอัดสำเนาประกอบการอบรมการพัฒนากระบวนการพยาบาล การดูแลรักษาผู้ติดเชื้อเอ็ดส์ สภาวิชาชีพพยาบาล. กรุงเทพฯ: สภาวิชาชีพพยาบาล ; 2549.
5. สุวัฒน์ มหัตถ์นรินทร์กุล และคณะ. เปรียบเทียบแบบวัดคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลก ชุด 100 ตัวชี้วัด. วารสารกรมสุขภาพจิต. 2551; 5 : 4-15.
6. ผาสุก ลัมรัตนพิมพ์. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ติดเชื้อเอชไอวีและผู้ป่วยเอ็ดส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2551.
7. งานควบคุมป้องกันโรคเอ็ดส์และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ โรงพยาบาลปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ. สรุปผลการดำเนินงานควบคุมป้องกันโรคเอ็ดส์และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ โรงพยาบาลปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ. 2554.
8. นิชกมล เปียอยู่. การพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ติดเชื้อเอชไอวี โรงพยาบาลท่าม่วง อำเภอท่าม่วง จังหวัดลพบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ยุทธศาสตร์การพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี. 2549.
9. สาโรจน์ โพธิ์ชิต. คุณภาพการดูแลรักษาผู้ติดเชื้อเอชไอวีผู้ป่วยเอ็ดส์ด้วยโปรแกรม HIVQAUL-T ในโรงพยาบาลชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีงบประมาณ 2549-2553 วารสารโรคเอ็ดส์ 2554:23(3) : 150-156.
10. บุษยา จันทรสุกกรี. การพัฒนาระบบบริการดูแลผู้ติดเชื้อและผู้ป่วยเอ็ดส์อย่างครบถ้วน และต่อเนื่อง ในโรงพยาบาลชุมชน จังหวัดเพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2545.
11. ทะนงศรี ภูริศรี. ความหวัง และคุณภาพชีวิตของผู้ติดเชื้อเอชไอวีที่ได้รับยาต้านไวรัส สถาบันบำราศนราดูร จังหวัดนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2551.
12. กัลยา แซ่ชิต, กิตติกร นิลมานัด. คุณภาพชีวิตของผู้ติดเชื้อเอชไอวีผู้ป่วยเอ็ดส์ที่เข้ารับยาต้านไวรัสในโรงพยาบาลสงขลา. วารสารโรคเอ็ดส์ 2552; 22 (1) : 22-30.
13. กิตติยาภรณ์ โชคสวัสดิ์ภิญโญ. การเสริมสร้างพลังอำนาจผู้ดูแลในครอบครัวต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้ติดเชื้อเอชไอวี/ผู้ป่วยเอ็ดส์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2554; 16(4):416-427.
14. สุวรรณ บุญยะสีพรธน และคณะ. การพัฒนาระบบการดูแลผู้ติดเชื้อเอชไอวีและผู้ป่วยเอ็ดส์อย่างครอบคลุมในโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. (โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น). 2547.

ความรุนแรงที่เกิดจากการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในกลุ่มวัยรุ่นหญิง: การศึกษาแบบภาคตัดขวาง ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง

Alcohol Drinking and Violence-Related Behaviors among Female Youths: A point Cross-Sectional Study

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร¹, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์^{2*}

Wisit Chaveepojnkamjorn¹, Natchaporn Pichainarong^{2*}

Received: 15 September 2014 ; Accepted: 21 December 2014

บทคัดย่อ

การวิจัยแบบภาคตัดขวาง ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรุนแรงที่เกิดจากการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในกลุ่มวัยรุ่นหญิง จำนวน 6,176 คน ในเขตภาคกลางของประเทศไทย ระหว่างเดือนธันวาคม 2007-กุมภาพันธ์ 2008 จำแนกตามเกณฑ์ โดยเป็นกลุ่มที่บริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นเวลา 30 วันก่อนการวิจัย จำนวน 358 ราย คิดเป็นร้อยละ 5.79 และกลุ่มที่ไม่บริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ จำนวน 5,818 ราย เก็บรวบรวมข้อมูล โดยให้ตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง : ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ปัจจัยด้านคุณลักษณะทั่วไปของตัวอย่าง สังคม และพฤติกรรมที่เกี่ยวกับความรุนแรงที่เกิดขึ้นในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา คือ พ.ศ. 2549 ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ ถดถอยเชิงพหุ โลจิสติก แบบตัวแปรตาม 2 ระดับ เพื่อควบคุมปัจจัยภายนอก คือ คุณลักษณะทั่วไปและสังคม ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมความรุนแรงที่เกิดขึ้น เนื่องจากการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในปัจจุบัน 5 ปัจจัย ได้แก่ การพกพาอาวุธ (OR = 2.42, 95 % CI = 1.17-4.98) การถูกล่วงละเมิดจากการนัดหมาย (OR = 2.46, 95 % CI = 1.47-4.14) การถูกบังคับให้มีเพศสัมพันธ์ด้วย (OR = 2.98, 95 % CI = 1.49-5.97) การการรับรู้ความเครียดจนอยากฆ่าตัวตาย (OR = 3.19, 95 % CI = 2.23-4.57) และการวางแผนเพื่อฆ่าตัวตาย (OR = 2.67, 95 % CI = 1.88-3.78) พฤติกรรมเสี่ยงเกี่ยวกับความรุนแรงที่เพิ่มขึ้น พบว่ามีผลต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นในกลุ่มที่บริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ จากผลการศึกษาบ่งชี้ว่า การป้องกันความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของวัยรุ่นหญิงเป็นสิ่งจำเป็นจากการรณรงค์อย่างต่อเนื่อง และการมีการดำเนินงานโดยได้รับความร่วมมือจากผู้ปกครอง เพื่อนสนิท ครู และพลังในชุมชน เพื่อไม่ให้เกิดความรุนแรงดังกล่าว โดยการลดการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในเยาวชนหญิง

คำสำคัญ ; การบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ พฤติกรรมเกี่ยวกับความรุนแรง วัยรุ่นหญิง

Abstract

A point cross-sectional study was conducted to explore alcohol drinking and violence-related behaviors from December 2007 to February 2008 among female youths in central Thailand. Six thousand one hundred and seventy six female students were classified into 2 groups according to their alcohol drinking in the previous 30 days (yes = 358, no = 5,818). Data were collected by an anonymous self-administered questionnaire which consisted of 2 parts: general characteristics and social factors and violence-related behaviors during the last 2006. Of all these respondents 5.79 % admitted to drinking alcohol. Multiple binary logistic regression analysis, after adjusting for general characteristics

¹ ภาควิชาระบาดวิทยา, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ ประเทศไทย

² คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม ประเทศไทย

¹ Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand

² Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand

* Correspondence: Natchaporn Pichainarong, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand.

E-mail:natchaporn.p@msu.ac.th

and social factors, revealed that 5 violence-related behavioral factors were associated with current alcohol drinking: often carried a weapon (OR = 2.42, 95 % CI = 1.17–4.98), experience dating violence (OR = 2.46, 95 % CI = 1.47–4.14), ever forced to have sexual relationship (OR = 2.98, 95 % CI = 1.49–5.97), depression for suicide perception (OR = 3.19, 95 % CI = 2.23–4.57), and made a suicide planning (OR = 2.67, 95 % CI = 1.88–3.78). An increased risk of violence-related behaviors was higher among drinking female youths that caused significant health problems. Results indicated that drinking prevention is needed. Continuous campaign mentioning the violence-related behaviors and alcohol drinking and co-operation with their parents, close friends, teachers and community efforts among adolescents should be implemented to prevent underage drinking and other adverse consequences.

Keywords: alcohol drinking, violence-related behaviors, female youths

Introduction

The World Health Organization (WHO) estimates that the worldwide per capita drinking of liquor (person aged ≥ 15 years) in 2005 equaled 6.13 litre of pure alcohol while Thai people were 5-7.49¹. In 2007, the National Statistical Office of Thailand found 8.8 % of Thai female ≥ 15 years old drink alcohol. The proportion of female alcohol drinking in the age 25-59 years was 11.2 %, 15-24 years 3.9 % and over 60 years 4.6 %, respectively². It was found that the proportion of female drinkers increased from 8.1 % in 1996 to 14.5 % in 2003, but dropped to 8.8 % in 2007 and gradually increased to 10.8 % in 2009^{2,3}. Adolescent drinkers made violence-related problems such as fighting, suicide and homicide and others. Adolescent violence is a serious social issue globally. Violence-related behaviors such as fighting and weapon carrying mostly may lead to serious physical and psychosocial consequences for adolescents.

A rarely found researches into violence-related behaviors and its association with alcohol drinking among female youths in Thailand has been undertaken and a better understanding of them is essential for planning intervention to solve this problem. The aim of this study was to study the associations between current alcohol drinking and other violence-related behaviors among female youths which were revocable beneficiary.

Materials and Methods

Study Design and Population

This point cross-sectional study was carried out from December 2007 to February 2008 and it also was a part of the surveillance of drinking behaviors and other

health-risk behaviors among high school females youths in central Thailand (not including Bangkok or its adjacent provinces). The proposal was reviewed and approved by the Ethics Committee for Research in Human Subjects of Mahidol University (Ref.No. Mu 2007-243) and informed consent was sought from parents (with female youths assent). Parental consent and female youths assent were required for participation of the female youths was aged <18 years, whereas the female youths aged ≥ 18 years could consent for their own participation. A two-stage stratified sampling technique was used for selecting the 6,176 students from 10 provinces of central Thailand. First stage, these provinces were randomly selected and represented the general characteristics and social of female youths in central Thailand. Second stage, the selection of schools was based on a list of schools obtained from the Provincial Education Offices. All together 6,176 students from Mathayomsuksa School (MS) 1, 3 and 5 participated in the study (equivalent to grade 7, 9 and 11 of an ordinary school). In each school, 3 or less classes of each of these 3 educational levels were recruited of the same grade level. If there were more than three classes, three classes with students of mixed academic performance were randomly selected by their teachers. By virtue of being enrolled in a selected class, all students in the class were eligible to participate. The study subjects were classified into 2 groups according to their alcohol intake in the previous 30 days preceding the survey (yes = 358, no = 5,818). Data were collected using the supervised anonymous self-administered questionnaire which consisted of 2 parts, general characteristics and social, violence-related behaviors and

alcohol drinking behavior was performed by trained health staffs. Current alcohol drinking was defined as drinking at least one standard drink of an alcoholic beverage during the previous 30 days of the survey. A standard drink was defined as a can (330 cc) of beer, a glass (100 cc) of wine, or a small glass (30 cc) of whisky or spirits. The violence-related behaviors during the last 2006 was modified from the questionnaire of the U.S. Youth Risk Behavior Surveillance System^{4,5}. The Thai version was translated and verified by a bilingual English university lecturer, and it was reviewed by the experts (composed of psychiatrists, psychologists, nurses, sociologist, school teachers and health promotion specialists). Details of the study including the right to refuse to participate without any effect on their student status were explained and informed consent form was signed from all the participants. The main reason for non-response was absenteeism on the day of the perception survey. Participants self-administered the paper and pencil survey during one class period, taking approximately 30 minutes to complete. Individual answers were kept confidentially.

Statistical Analysis

General characteristics and social factors were given as a percentage, crude odds ratio, 95 % CI of OR and p-value. Unadjusted analysis was performed using the Pearson's chi-square test to differentiate proportional exposures between the drinkers and the non-drinkers for categorical variables. A multiple binary logistic regression was used to estimate the adjusted odds ratio and the 95 % CI of OR as associated measurement, and adjustment for confounding variables (age group, educational level, residence, Grade Point Average (GPA), part time job and

family members with alcohol/drug problems) by the enter method. Assessment of the statistical significance of each independent variable was considered at p-value < 0.05. The statistical analysis was performed using SPSS statistical software package (version 18 for windows).

Results

There were 358 students (5.79 % of the total sample) who self-identified as current drinkers. Details of the drinking behavior was explained by Chaveepojnkamjorn and Pichainarong, 2009⁶. Of these female youths, the sample age was 15 years old. Most of them were less than 15 years old (40.37 %). Their educational level ranged from 32 % in MS 1 to 37 % in MS 5. The majority of study subjects had a GPA of >3.0 (56.06 %) and 2.0-3.0 (39.77 %). Current drinking prevalence increased with increasing age (3.45 % of < 15 yrs vs 6.52 % of ≥17 yrs) and grade level (3.26 % among 7th graders vs 6.98 % among 11th graders).

Using univariate analysis, factors significantly associated with alcohol consumption ($p < 0.05$) were age group (OR age 15-16 yrs= 2.49; 95 % CI = 1.89–3.29; OR age ≥17 yrs= 1.95; 95 % CI = 1.45–2.63), educational level (OR MS 3 = 2.22, 95 % CI = 1.62–3.05; OR MS 5 = 2.22, 95 % CI = 1.63-3.02), residence (OR school dormitory = 3.16, 95 % CI = 1.18-7.98; OR private dormitory = 4.49, 95 % CI = 1.25-14.53), GPA (OR GPA <2.0 = 1.59, 95 % CI = 1.01-2.53; OR GPA ≥ 3.0 = 0.67, 95 % CI = 0.53-0.85), having a part time job (OR = 1.39, 95 % CI = 1.07-1.79) and having family members with alcohol/drug problems (OR = 1.82, 95 % CI = 1.45-2.30) (Table 1).

Table 1 Unadjusted association between general characteristics and social factors and current drinking of female youths

Variables	No.drinker/total	%drinker	Crude OR	95%CI	p-value ^a
Age group (yrs) (n = 6176)					
< 15	86/2493	3.45	1		
15-16	158/1934	8.17	2.49	1.89-3.29	< 0.001 ^a
≥17	114/1749	6.52	1.95	1.45-2.63	< 0.001 ^a
Mean (SD)	14.91 (1.77)				
Median (QD)	15.00 (2.00)				
Min-Max	11-21				
Educational level (n = 6176)					
MS 1	64/1964	3.26	1		
MS 3	134/1921	6.98	2.22	1.62-3.05	<0.001 ^a
MS 5	160/2291	6.98	2.22	1.63-3.02	<0.001 ^a
Religion (n = 6158)					
Buddhist	351/6051	5.80	1		
Islam	4/44	9.09	1.62	0.49-4.75	0.332 ^b
Others	1/63	1.59	0.26	0.01-1.94	0.267 ^b
Residence (n = 5559)					
House/Apartment of family	307/5502	5.58	1		
School dormitory	6/38	15.79	3.16	1.18-7.98	0.006 ^b
Private dormitory	4/19	21.05	4.49	1.25-14.53	0.004 ^b
Cohabitant (n = 5931)					
Parent	286/5049	5.66	1		
Relative	52/819	6.35	1.13	0.82-1.54	0.435 ^a
Friend	3/30	10.00	1.85	0.44-6.40	0.242 ^b
Alone	2/32	6.25	1.11	0.26-4.67	0.703 ^b
Grade point average (n = 5371)					
<2.0	25/224	11.16	1.59	1.01-2.53	0.040 ^a
2.0-3.0	158/2136	7.40	1		
>3.0	154/3011	5.11	0.67	0.53-0.85	<0.001 ^a
Mean (SD)	3.08 (0.59)				
Median (QD)	3.11 (0.44)				
Min-Max	1.00-4.00				
Part time job (n = 6087)					
No	266/4896	5.43	1		
Yes	88/1191	7.39	1.39	1.07-1.79	0.009 ^a
Family members with alcohol/drug problems (n = 5561)					
No	143/3165	4.52	1		
Yes	190/2396	7.93	1.82	1.45-2.30	<0.001 ^a

^a Pearson's chi-square test, ^b Fisher's exact test, OR = odds ratio, CI = confidence interval.

MS 1 = 1st year of secondary school (equivalent to 7th grader), MS 3 = 3rd year of secondary school (equivalent to 9th grader), MS 5 = 5th year of secondary school (equivalent to 11th grader).

The multivariate analyses showed only 5 violence-related behaviors that after adjustment (age, educational level, residence, GPA, having a part time job, and having family members with alcohol/drug problems), compared with non-drinkers, current drinkers were more likely to carry a weapon (OR = 2.42, 95 % CI = 1.17–4.98), experience dating violence (OR = 2.46, 95 % CI = 1.47–4.14) and ever forced to have sexual relationship

(OR = 2.98, 95 % CI = 1.49–5.97), were still associated with higher odds ratio among current drinkers than non-drinkers. In addition, perception of sad and attempted suicide, indicated that participants had depress for suicide perception (OR = 3.19, 95 % CI = 2.23–4.57) and making a suicide planning (OR = 2.67, 95 % CI = 1.88–3.78) were also significantly associated with current drinking, as shown in Table 2.

Table 2 Percent, crude OR and adjusted OR of violence-related behaviors among female youths according to drinking status.

Violence-related behaviors	All Respondents (n = 6176)	Nondrinkers (n = 5818)		Current drinkers (n = 358)			
	Current drinkers	%	%	Crude OR	Adjusted OR ^a	95% CI	
(n = 358)	1.36	1.25	3.21	2.62	2.42	1.17-4.98	0.017
Often got into a physical fight without injury	0.96	0.91	1.76	1.96	2.28	0.87-5.95	0.093
Dating violence	5.21	4.48	11.45	2.76	2.46	1.47-4.14	0.001
Ever forced to have sexual relationship	4.69	3.74	11.35	3.29	2.98	1.49-5.97	0.002
Depress for suicide perception	4.59	3.99	14.57	4.11	3.19	2.23-4.57	<0.001
Made a suicide perceived plan	5.53	4.92	15.54	3.56	2.67	1.88-3.78	<0.001

^a Adjusted for age group, educational level, residence, GPA, part time job and family members with alcohol/drug problem

Discussion

Our findings demonstrated that approximately 6 % of female youths reported that they drank alcohol at least one drink during the 30 days preceding the survey. This result may be an underestimate among these girls. One of the reasons may be that they were afraid of punitive consequences from their parents or caregivers, despite of the fact that they had been assured that personalized information would not be reported⁶. Adolescence is a vulnerable period and facilitates the start of risk behaviors, for instance consuming alcohol, cigarette smoking and other substance use etc. This study confirmed that older girls drank more than the younger ones⁷⁻⁹. In aspect of violence-related behaviors, current drinkers are at higher risk of often carrying a weapon,¹⁰⁻¹² dating violence¹³⁻¹⁸ and being ever forced to have sexual relationship¹⁹. In addition, drinkers are at higher risk perceived of seriously thinking about suicide and making a plan how they would attempt suicide. This

corresponds with the results of the previous studies^{19,20}. These behaviors may lead to fighting and injury, unwanted pregnancy, unwanted child and illegal abortion. This study was subject to a few limitations. First, the present study was a point cross-sectional survey, it was difficult to make statements about cause and effect relationships between alcohol drinking and the violence-related behaviors. Second, these data apply only to female youths who attend high school and, therefore, are not representative of all female youths. Moreover, the data collection in the classroom might exclude students who are often absent from class or those who developed serious alcohol-related problems and dropped out of school²¹. Finally, all data were based on student self-reporting, which may lead to variation in the number of standard drinks consumed^{22, 23} and other violence-related behaviors.

This study showed the association between the violence-related behaviors and alcohol drinking among female youths. Therefore the ways to reduce underage

drinking should be performed. The effective intervention strategies such as limiting youth access (namely, adequate enforcement of the minimal legal drinking age, increased alcohol taxes, reduced exposure to alcohol advertising and marketing, implementation of comprehensive community-based programs to prevent drinking, development of a national media campaign to reduce risky drinking etc.) to alcohol has reduced underage alcohol drinking and alcohol-related problems^{24,25}. Family institution and friend are the first place to promote immunity against alcoholic drinks/drug use. Because adolescents trust and copy their friend believes, family love and warmth in adolescents are necessary for children's adjustment when they have any problems and necessary for emotional development, including being the good role-model for good practice. Not only family roles but also good girls model could be done. Poor parental supervision, family dissolution, and negative peer influence have all been shown to be associated with violence²⁶⁻²⁸. In addition, a policy for the development of prevention programs aimed to prevent/reduce alcohol use and integrate the programs into the curriculum in formal education should be initiated. Moreover, a policy advocating for safety environments in multiple settings against alcohol use, such as seriously strict enforcement of selling liquor, prohibiting alcohol sales near schools, and increasing alcohol taxes to their maximum levels, should be promoted^{24,25,29}. Applications of the health promoting school model of WHO³⁰ should be utilized to develop the effective school health programs to relieve these problems. Some papers showing the effectiveness of Health Promoting School in minimizing health-risk behaviors^{24, 31,32}. These measures could go a long way in not only reducing the numbers of violators but also make a positive overall contribution to public health. However underage drinking cannot be successful by focusing on adolescents alone, the efforts strongly need to focus on youths, their close friends, family, teachers and adults.

Acknowledgement

The authors wish to express sincerely thanks for their valuable participation in the study given by the high

school students and the practical support of the health staffs and the staff of the participating high schools. We also thank those who are not mentioned for their kindness and encouragement. This work was a part of the surveillance of drinking behaviors and other health-risk behaviors among high school students in Thailand and was supported by a grant from the Center for Alcohol Studies (CAS), Thailand and was partly supported by the China Medical Board (CMB) Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand.

References

1. World Health Organization. Global status report on alcohol and health. Geneva: World Health Organization. 2011.
2. National Statistical Office. The cigarette smoking and alcoholic drinking behaviour survey 2007. Bangkok: Statistical forecasting bureau. 2008.
3. Bureau of Policy and Strategy. Ministry of Public Health. Thailand Health Profile 2008- 2010. Bangkok: the War Veterans Organization of Thailand. 2011.
4. Brener ND, Hann L, Kinchen SA, et al. Methodology of the youth risk behavior surveillance system. *MMWR* 2004; 53: 1-13.
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Youth risk behavior surveillance—United States, 2007. *Morb Mortal Wkly Rep* 2008; 57: 1–31.
6. Chaveepojnkamjorn W, Pichainarong N. Drinking behavior among female high school students in central Thailand. *J Med Assoc Thai* 2009; 92 (Suppl 7): s1-7.
7. Miller JW, Naimi TS, Brewer RD, Jones SE. Binge drinking and associated health risk behavior among high school students. *Pediatrics* 2007; 119: 76-85.
8. Johnston LD, O'Malley PM, Bachman JG, Schulenberg JE. Monitoring the future, National results on Adolescent Drug Use: Overview of Key Finding, 2007. Bethesda, MD: National Institute on Drug Abuse, 2008. (NIH Publication No. 08-6418)
9. Chaveepojnkamjorn W, Pichainarong N. Factors associated with alcohol consumption among upper secondary school students. *Southeast Asian J Trop*

- Med Public Health 2007; 38: 146-51.
10. Domingues SC, Mendonca JB, Laranjeira R, Nakamura-Palacios EM. Drinking and driving: a decrease in executive frontal functions in young drivers with high blood alcohol concentration. *Alcohol* 2009; 43: 657-64.
 11. Eaton DK, Kann L, Kinchen S, et al. Youth risk behavior surveillance-United States, 2007. *MMWR* 2008; 57: 1-131.
 12. Strauch E S, Pinheiro RT, Silva R A, Horta BL. Alcohol use among adolescents: a population-based study. *Rev Saude Publica* 2009; 43: 647-55.
 13. Clubb PA, Browne DC, Humphrey AD, Schoenbach V, Meyer B, Jackson M, the RSVPP Steering Committee. Violent behaviors in early adolescent minority youth: results from a "middle school youth risk behaviors survey". *Maternal Child Health J* 2001; 5: 225-35.
 14. DuRant RH, Krowchuk DP, Kreiter S, Sinal SH, Woods CR. Weapon carrying on school property among middle school students. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1999; 153: 21-6.
 15. Peskin MF, Tortolero SR, Addy RC, Weller NF. Weapon carrying prevention should adults spend more time with youth? *Youth Violence Juv Justice* 2009; 7: 32-45.
 16. Kreiter SR, Krowchuk DP, Woods CR, Sinal SH, Lawless MR, DuRant RH. Gender differences in risk behaviors among adolescents who experience date fighting. *Pediatrics* 1999; 104: 1286-92.
 17. Champion H, Foley KL, Sigmon-Smith K, Sutfin EL, DuRant RH. Contextual factors and health risk behaviors associated with date fighting among high school students. *Women Health* 2008; 47: 1-22.
 18. Ramisetty-Mikler S, Goebert D, Nishimura S, Caetano R. Dating violence victimization: associated drinking and sexual risk behavior of Asian, native Hawaiian, and caucasian high school students in Hawaii. *J Sch Health* 2006; 76: 423-9.
 19. Basile KC, Black MC, Simon TR, Arias I, Brener ND, Saltzman LE. The association between self-reported lifetime history of forced sexual intercourse and recent health-risk behaviors: findings from the 2003 National Youth Risk Behavior Survey. *J Adolesc Health* 2006; 39: 752 e 1-7.
 20. Kirkcaldy BD, Siefen GR, Urkin J, Merrick J. Risk factors for suicidal behavior in adolescents. *Minerva Pediatr* 2006; 58: 443-50.
 21. Sanchez ZM, Martins SS, Opaleye ES, et al. Social factors associated to binge drinking: a cross-sectional survey among Brazilian students in private high schools. *BMC Public Health* 2011; 11: 201.
 22. Kraus CL, Salazar NC, Mitchell JR, Florin WD, Guenther B, Brady D, Swartzwelder HS, White AM. Inconsistencies between actual and estimated blood alcohol concentrations in a field study of college students: do students really know how much they drink? *Alcohol Clin Exp Res* 2005; 29: 1672-6.
 23. White AM, Kraus CL, Flom JD, Kestenbaum LA, Mitchell JR, Shah K, Swartzwelder HS. College students lack knowledge of standard drink volumes: implications for definitions of risky drinking based on survey data. *Alcohol Clin Exp Res* 2005; 29: 631-8.
 24. Wong MC, Sun J, Lee A, et al. The impact of a newly designed resilience-enhancing programme on parent- and teacher-perceived resilience environment among Health Promoting Schools in Hong Kong. *J Epidemiol Community Health* 2009; 63: 209-14.
 25. Xin-Wei Z, Li-Qun L, Xue-Hai Z, et al. Health-promoting school development in Zhejiang Province, China. *Health Promot Int* 2008; 23: 220-30.
 26. Hawkins JD, Herrenkohl TI, Farrington DP, Brewer D, Catalano RF, Harachi TW, et al. Predictors of youth violence. *Juvenile Justice Bulletin* 2000. Available at : https://www.ncjrs.gov/html/ojjdp/jjbul2000_04_5/contents.html. Accessed 5 November 2012.
 27. Singer MI, Miller DB, Guo S, Flannery DJ, Frierson T, Slovak K. Contributors to violent behavior among elementary and middle school children. *Pediatrics* 1999; 104: 878-84.
 28. Borowsky IW, Ireland M. Predictors of future fight-related injury among adolescents. *Pediatrics* 2004; 113: 530-6.

29. Lee A, Wong MC, Keung VM, Yuen HS, Cheng F, Mok JS. Can the concept of Health Promoting Schools help to improve students' health knowledge and practices to combat the challenge of communicable diseases: Case study in Hong Kong? *BMC Public Health* 2008; 8: 42.
30. World Health Organization. School and Youth Health. [Cited 2012 Oct 8]. Available from URL: http://www.who.int/school_youth_health/gshi/hps/en/index.html.
31. Inchley J, Muldoon J, Currie C. Becoming a health promoting school: evaluating the process of effective implementation in Scotland. *Health Promot Int* 2007; 22: 65-71.
32. Lee A, Cheng FF, Fung Y, St Leger L. Can Health Promoting Schools contribute to the better health and well-being of young people? The Hong Kong experience. *J Epidemiol Community Health* 2006; 60: 530-6.

อิทธิพลของอุปกรณ์ด้านอากาศพลศาสตร์ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก

The Influence of Aerodynamic Devices on the Fuel Consumption of Trucks

ปรัชญา มุขดา¹

Prachya Mukda¹

Received: 11 August 2014 ; Accepted: 26 December 2014

บทคัดย่อ

งานนี้เป็นการเสนอ การศึกษาผลกระทบของคุณลักษณะอากาศพลศาสตร์ ที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกยี่ห้อ HINO รุ่นEH700 ขนาด 10.8 ตันที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมท้ายกระบะ โดยกรณีศึกษา 5 รูปทรงกระบะที่แตกต่างกัน คือ (1) รถบรรทุกปกติ (2) ปิดกระบะบรรทุก (3) เปิดกระบะบรรทุกออก (4) เสริมท้ายกระบะด้วยแผ่นเอียงและ (5) เสริมท้ายกระบะทรงรีโดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (CFD) เป็นเครื่องมือในการจำลองเพื่อตรวจสอบการไหลของอากาศรอบตัวรถและแรงต้านซึ่งปัจจัยเหล่านี้ สามารถนำมาคำนวณ เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยนำมาเปรียบเทียบกับกรณีปกติให้ผลดังนี้คือ กรณีเปิดกระบะบรรทุกออกสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 8.63 % สำหรับกรณีเสริมท้ายกระบะด้วยแผ่นเอียงลดลง 12.73 % กรณีเสริมท้ายกระบะทรงรีลดลง 21.86 % แต่กรณีปิดกระบะบรรทุกอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับเพิ่มขึ้น 7.76 %

คำสำคัญ: อากาศพลศาสตร์ รถบรรทุก ค่าแรงต้านเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

Abstract

This work presents a study on the effect of aerodynamics on fuel consumption of a truck (10.8-ton HINO model EH700) equipped with a modified dump box. In this case study, five different features of the dump box: (1) non-modified truck, (2) closed-dump box, (3) opened-dump box (4) dump box equipped with flat plate at the end rear, and (5) dump box equipped with ellipsoid shape at rear end, have been tested by means of Computational Fluid Dynamics (CFD), in order to investigate their influence on the flow around the truck and the drag. These were input parameters for predicting changing fuel consumption of the modified truck. Compared to the non-modified-dump box truck, the fuel consumption of the truck can be reduced by 8.63 for the opened-dump box, 12.73% for the dump box equipped with flat plate at the end rear, and 21.86 % for the dump box equipped with ellipsoid shape at rear end. On the contrary the closed-dump box leads to an increase of fuel consumption of 7.76%.

Keywords: Aerodynamics, Truck, Computational Fluid Dynamics, Fuel Consumption

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

ผู้ติดต่อ ปรัชญา มุขดา : mukdaen@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 087-9597828, เบอร์โทรสาร 032-414455

¹ Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University 76000

บทนำ

การขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ เป็นตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดวิกฤตด้านพลังงานของประเทศไทย เพราะพลังงานเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบเศรษฐกิจสามารถขับเคลื่อน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2557 (Figure 1) แสดงให้เห็นว่า การขนส่งมีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด เทียบเท่ากับการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

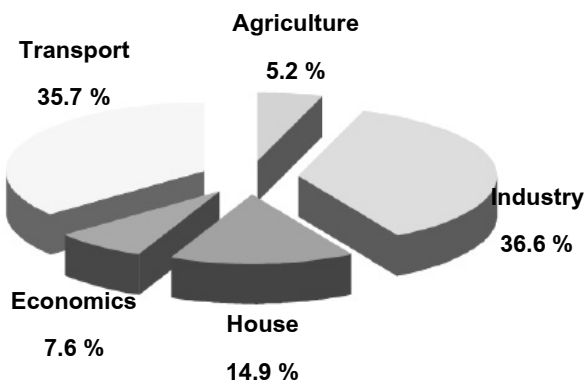


Figure 1 Using energy divides economics¹

Table 1 Transportation oil divides vehicles[1]

Transport	Pure oil (Ton billion)	Percentage
Truck	17,684	75.96 %
Train	104	0.45 %
Ship	1,645	7.07 %
Airline	3,847	16.52%

ซึ่งการขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ จำเป็นต้องใช้ยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่เพื่อความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น รถไฟ เรือ หรือเครื่องบิน แต่เนื่องจากระบบการจัดการการขนส่งสินค้า (Logistics) ภายในประเทศยังไม่มีการพัฒนาที่ดีพอกับการคมนาคมขนส่งของยานพาหนะดังกล่าว รถบรรทุกขนาดใหญ่ หรือรถบรรทุกที่มีขนาดมากกว่า 10 ตัน จึงเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศมากที่สุด ตาม Table 1 เพราะความเหมาะสมกับสภาพถนน สภาพภูมิประเทศ และต้นทุนในการขนส่ง ดังนั้นในภาครัฐจึงต้องมีมาตรการลดการใช้พลังงานของรถบรรทุกให้มากที่สุด

การส่งเสริมการใช้รถบรรทุกประหยัดพลังงาน ก็เป็นนโยบายหนึ่งของมาตรการ ซึ่งภาคอุตสาหกรรมการผลิตรถและนักวิจัย จึงพยายามคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ที่สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกให้มากที่สุด อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น การใช้

พลังงานทดแทน การใช้เครื่องยนต์พลังงานแบบผสม (Hybrid engine) ก็เป็นหนทางหนึ่ง ที่จะทำให้มาตรการนั้นประสบความสำเร็จ แต่ที่สำคัญไม่น้อยกว่าเรื่องของเครื่องยนต์ก็คือ การลดแรงต้านอากาศซึ่งยังไม่มีการศึกษา ในเชิงออกแบบอุปกรณ์เสริมเพื่อลดแรงต้าน หรือพัฒนาอากาศยานการพัฒนาอากาศยานพลศาสตร์ (Aerodynamics) หรือการปรับปรุงรูปทรงของรถบรรทุกที่มีอิทธิพลโดยตรงกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งรูปทรงของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้กันในประเทศไทย ถึงแม้จะมีการออกแบบที่ดีอยู่แล้ว แต่ก็สามารถปรับปรุง หรือดัดแปลง ให้มีแรงต้านอากาศต่ำลงได้อีก และในการใช้งานจริง ผู้ใช้มักจะติดตั้งอุปกรณ์เสริม ทำให้การใช้งานผิดไปจากต้นแบบเสมอ ค่าแรงต้านอากาศของรถที่ถูกดัดแปลงจะไม่เท่าเดิม ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น²

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จะนำความรู้เรื่องอากาศยานพลศาสตร์ของรถบรรทุกขนาด 10.8 ตัน (Figure 2) มาศึกษาสัมประสิทธิ์แรงต้าน และแรงต้านอากาศ โดยทำการศึกษาทั้งการทดลองและด้านการจำลองโดยใช้โปรแกรมการจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) จนนำไปสู่การออกแบบสร้างอุปกรณ์เสริม และสรุปข้อบกพร่องของการใช้งานปัจจุบัน พร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขวิธีการใช้งานที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงให้มากที่สุด



Figure 2 Truck for testing

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทดสอบแบบจำลองรถกระบะในอุโมงค์ลม การจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (CFD) จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผลกับการทดลองก่อนนำมาใช้ทดสอบการจำลองรถบรรทุก (Validation)

โดยใช้อุโมงค์ลมแบบเปิดดูดอากาศผ่านแบบจำลองรถ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองรถบรรทุกซึ่งมีความยุ่งยากในการทดสอบในอุโมงค์ลม จึงใช้รถกระบะจำลองอัตราส่วน 1:20 ของรถขนาดจริง ทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านเปรียบเทียบกับ CFD

ข้อมูลทางเทคนิคของอุโมงค์ลม

- พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เมตร
- มอเตอร์ขนาด 3.7 กิโลวัตต์, แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์, 3 เฟส, ความถี่ 50 เฮิร์ต
- อินเวอร์เตอร์ 5 กิโลวัตต์
- ความเร็วส่วนทดสอบสูงสุด 25 เมตรต่อวินาที

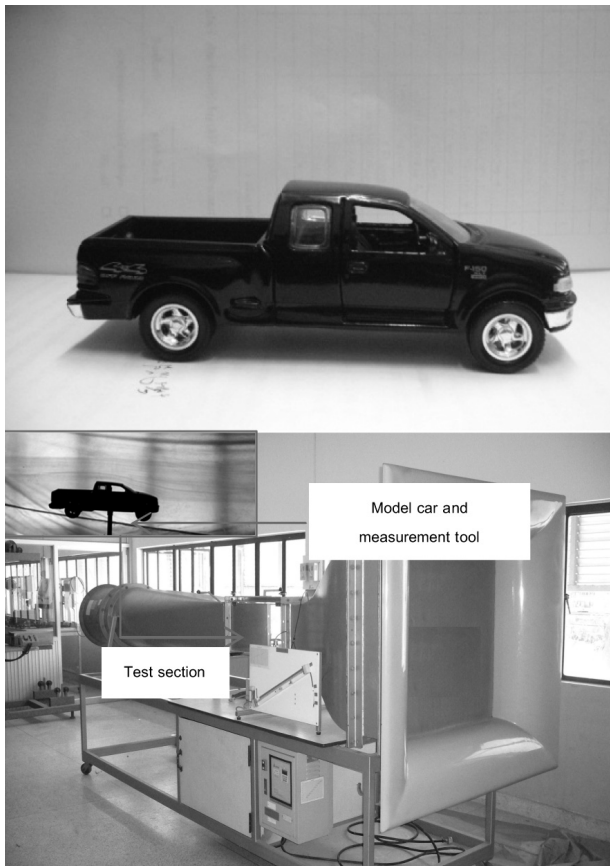


Figure 3 Wind tunnel for the model car testing³

2. ทดสอบแบบจำลองโดยวิธีจำลองเชิงตัวเลข

Table 2 Condition for computation fluid dynamics

GAMBIT 3D	
Inlet boundary condition	Velocity inlet
Outlet boundary condition	Pressure outlet
Grid	728,644cell ¹
FLUENT 3D	
Solve	Segregated Solver
Linearization	Implicit method
Turbulent model	Standard k-epsilon
Near-wall treatment method	Standard wall function
Velocity testing	10 – 25 m/s

Remark 728,644 cell¹ obtain from mesh analysis

On Figure 4

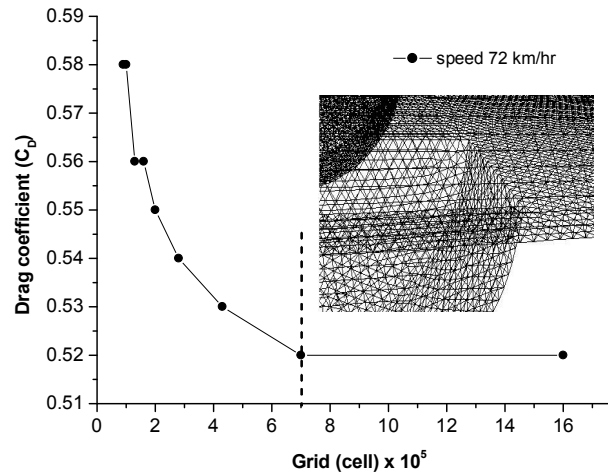


Figure 4 Comparison between grids with drag coefficient (C_D)

จากข้อมูลข้างต้น เป็นข้อมูลของเครื่องมือในการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน ทั้งด้านการทดลองโดยอุโมงค์ลม และการจำลอง CFD ซึ่งให้ผลแตกต่างกัน 4 เปอร์เซ็นต์ (Figure 5) จากนั้นนำเงื่อนไขของ CFD ตาม Table 3 มาทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุก

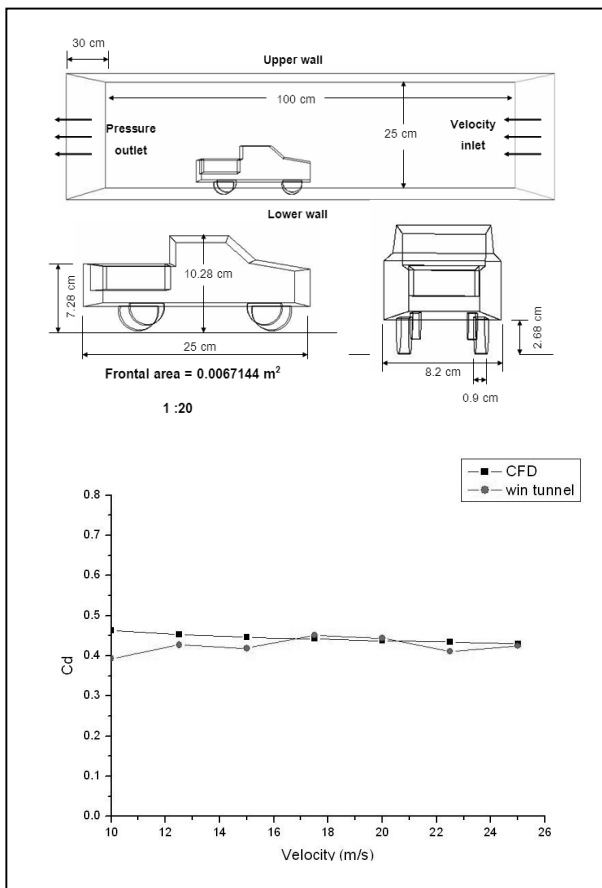


Figure 5 Validation between wind tunnel and CFD⁴

3. กรณีศึกษา แบบจำลองรถบรรทุกขนาดจริง

เงื่อนไขที่ผ่านการยืนยันผลจากขั้นตอนที่ผ่านมา นำมาใช้จำลองรถบรรทุกขนาดจริง เพื่อวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์ โดยใช้รถบรรทุก ยี่ห้อ HINO รุ่น EH700 ขนาด 10.8 ตัน ดัง Figure 6 เป็นกรณีศึกษา ซึ่งกรณีศึกษาได้มาจากหลักการของการลดแรงต้าน ว่าด้วยการลดการแยกตัวของอากาศเมื่ออากาศผ่านตัวรถบรรทุก เป็นการออกแบบอุปกรณ์เสริมส่วนกระบังรถบรรทุก ซึ่งจะเน้นการลดแรงต้านที่เกิดจากผลต่างของแรงดันด้านหน้าและด้านหลังของตัวรถ และทำให้มีรูปร่างโดยรวมมีลักษณะลู่ลมมากที่สุด⁵ เพื่อนำมาจำลองและวิเคราะห์สภาวะการไหลของอากาศที่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงของแรงต้านรวมของรถบรรทุก ได้แก่ การกระจายตัวของความดัน การกระจายตัวของความเร็ว การหมุนวนของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเป็นต้น ซึ่งมีกรณีศึกษาทั้งหมด 5 กรณีได้แก่

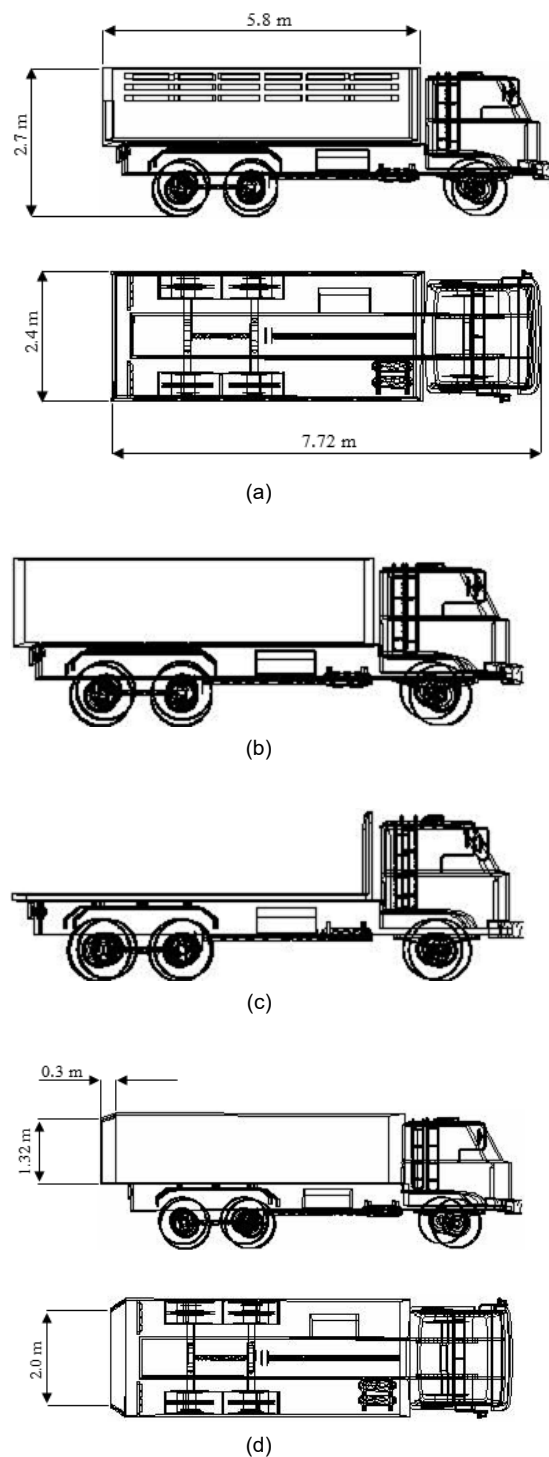


Figure 6 Case studies are (a) non-modified truck, (b) closed-dump box, (c) opened-dump box (d) dump box equipped with flat plate at the end rear and (e) dump box equipped with ellipsoid shape at rear end, respectively.

ผลและการวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบนั้นสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงหรือเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของความดันและความแปรปรวนของอากาศรอบบริเวณของรถบรรทุกโดยหลักการของการออกแบบคือเพื่อลดความแปรปรวนของอากาศหรือลดความแตกต่างของความดันด้านหน้า และด้านหลังจากการปะทะของอากาศกับรถบรรทุกโดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ (1) เมื่อ F_D คือแรงต้านรวมของรถ (N), P คือค่าแรงดันอากาศ (N/m^2), A คือพื้นที่หน้าตัด ด้านหน้าและด้านหลังของรถ

$$F_D = \int_{front} p \cos \theta dA - \int_{back} p \cos \theta dA \quad (1)$$

กรณีที่ 1 รถบรรทุกปกติขนาดของแรงต้านจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก คือ ผลต่างของการกระจายตัวของความดันรอบๆบริเวณตัวรถและความแปรปรวนของอากาศที่ผ่านตัวรถ หากพิจารณาจาก Figure 7 (a)pressure สามารถแบ่งความแตกต่างของความดันออกเป็น 3 บริเวณความดันคือ บริเวณห้องโดยสาร บริเวณกระบะบรรทุก และบริเวณท้ายรถ ซึ่งทั้ง 3 บริเวณมีแตกต่างของความดันอย่างชัดเจน โดยที่บริเวณห้องโดยสารจะมีความดันสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ส่วนบริเวณกระบะบรรทุกและบริเวณท้ายรถจะมีความดันลดลง ผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการไหลย้อนกลับ หรือการหมุนวนของอากาศ Figure7 (b) velocity จากรูป อากาศที่หมุนวนแสดงถึงสภาวะที่มีความดันต่ำ เนื่องจากอัตราเร่งของอากาศมีความต่างกันสูง

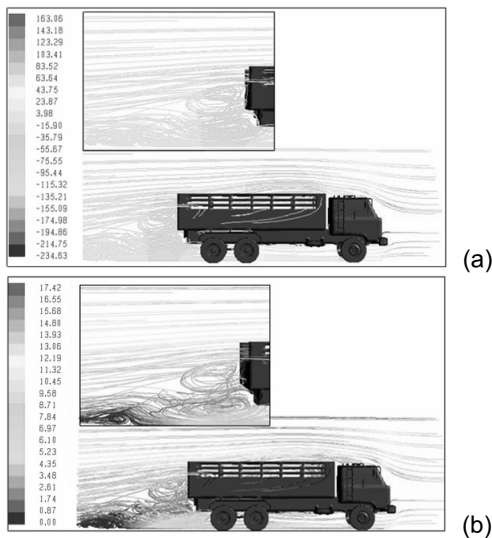


Figure 7 Pathlines of non-modified truck, (a) statics pressure and (b) velocity

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเส้นระดับแถบสี ความดันและความเร็วแล้ว หากต้องการลดค่าของสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกจะต้องลดค่าผลต่างของความดันบริเวณรอบๆ ตัวรถลงหรือลดความแปรปรวนของอากาศผ่านตัวรถ ดังนั้นจึงได้มีการปรับแต่งและติดตั้งอุปกรณ์เสริมขึ้นเพื่อต้องการลดแรงต้านของรถบรรทุกดังนี้คือ

กรณีที่ 2 ปิดกระบะบรรทุกลักษณะการใช้งานของกรณีนี้เป็นการปิดหรือคลุมบริเวณกระบะบรรทุกซึ่งเป็นที่พบเห็นโดยทั่วไป ดังนั้นจึงต้องการนำมาวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงหรือเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีรถบรรทุกปกติ จาก Figure 8 (a)pressure และ(b) velocity ลักษณะการไหลของอากาศมีความแปรปรวนบริเวณท้ายรถสูงขึ้นจากกรณีปกติ ผลจากการปิดบริเวณกระบะบรรทุกทำให้สามารถลดความแตกต่างของความดันบริเวณกระบะบรรทุกลงได้แต่ในขณะเดียวกันมีผลทำให้ความดันบริเวณท้ายรถมีค่าลดลงเกิดการหมุนวนมากกว่ากรณีปกติ เนื่องจากผลต่างของอัตราเร่งของอากาศ ผลจากความแปรปรวนของอากาศและผลต่างของความดันที่สูงขึ้นบริเวณท้ายรถจึงทำให้เกิดสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่ามากขึ้นด้วย

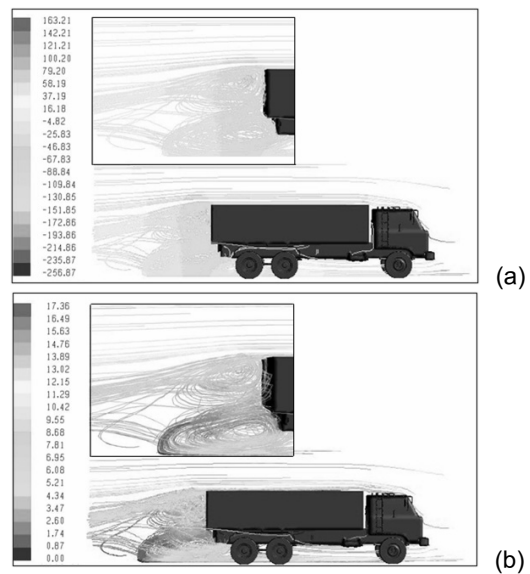


Figure 8 Pathline of closed-dump box, (a) statics pressure and (b) velocity

กรณีที่ 3 เปิดกระบะบรรทุกออกจากการวิเคราะห์ผลของกรณีที่ 2 แสดงว่าส่วนที่เป็นกระบะบรรทุกนั้นมีผลกับสัมประสิทธิ์แรงต้านอยู่มาก เพราะฉะนั้น จึงมีการทดลองทำการปรับแต่งบริเวณกระบะบรรทุกโดยนำเอาส่วนที่เป็นกระบะบรรทุกส่วนข้างออกคงเหลือแต่เพียงพื้นด้านล่างกระบะบรรทุก แล้วนำมาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงจาก Figure 9

(a)pressure และ(b)velocity จะเห็นได้ว่าการแปรปรวนของอากาศและความดันแตกต่างที่บริเวณท้ายรถมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แต่ก็ยังเกิดความแปรปรวนของอากาศและการหมุนวนของความดันอยู่ที่บริเวณระหว่างห้องโดยสารกับพื้นบรรทุกทางด้านหลัง อย่างไรก็ตามผลจากการทดสอบในกรณีนี้ทำให้ช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงต้านลงซึ่งการทดสอบในกรณีนี้เป็นเพียงกรณีศึกษาเท่านั้น เพราะกระบวนบรรทุกเป็นลักษณะเฉพาะไม่สามารถที่จะนำออกได้ เพียงแต่ได้นำมาพิจารณาประกอบการศึกษา อย่างไรก็ตามหากสามารถทำได้จริงขณะที่รถบรรทุกใช้งานจริงก็จะต้องมีสิ่งของที่บรรทุกด้วย สิ่งของดังกล่าวก็จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านไปด้วยเช่นกัน

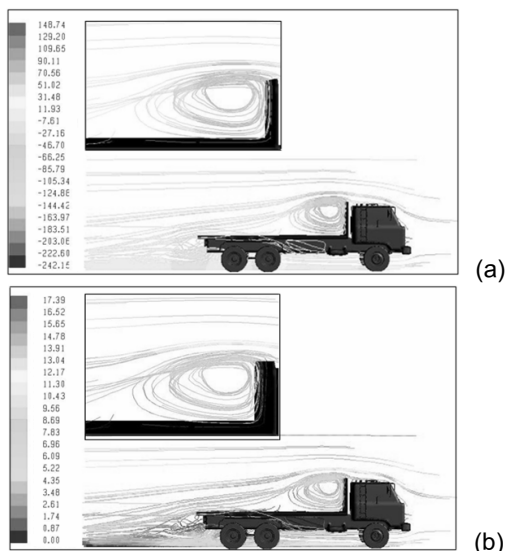


Figure 9 Pathline of opened-dump box, (a) statics pressure and (b) velocity

กรณีที่ 4 เสริมท้ายกระบะบรรทุกเอียง การทดสอบในกรณีนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากกรณีที่ 2 เนื่องจากต้องการจะลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของตัวรถในขณะที่ใช้งานจริง พิจารณาFig.10 (a)pressure และ (b)velocity ลักษณะความแปรปรวนของอากาศและความแตกต่างของความดันบริเวณท้ายรถมีค่าลดลงมากทำให้มีสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงจากกรณีที่ 1, 2 และ 3 หากนำผลจากการทดสอบจากกรณีนี้ไปเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 พิจารณาความแปรปรวนของอากาศและผลต่างของความดันบริเวณท้ายรถจะเห็นลักษณะการไหลคล้ายคลึงกันซึ่งไม่แตกต่างกันมากนักแต่เหตุที่สัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีที่ 1 มีค่าสูงกว่านั้น เพียงเพราะยังเกิดการไหลวนของอากาศและผลต่างของความดันบริเวณกระบะบรรทุก จึงมีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีนี้มีค่าลดลง

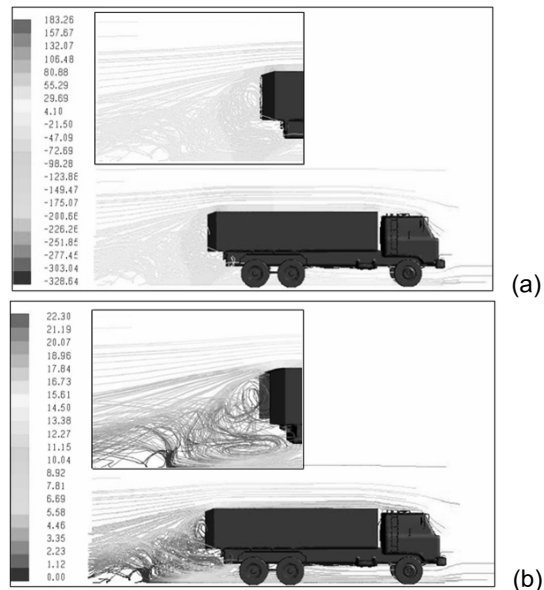


Figure 10 Pathline of dump box equipped with flat plate at the end rear, (a) statics pressure and (b) velocity

กรณีที่ 5 เสริมท้ายกระบะบรรทุกทรงรี การทดสอบในกรณีนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากกรณีที่ 2 คล้ายกับกรณีที่ 4 ผลจากการทดสอบมีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรณีที่ทำการทดสอบมา พิจารณาจาก Figure 11 (a)pressure และ (b)velocity เพราะความแปรปรวนของอากาศมีลักษณะการไหลที่ราบเรียบจึงช่วยลดแรงจุดบริเวณท้ายรถลดลงตามไปด้วยและการแยกตัวของอากาศก็มีค่าน้อยลง สัมประสิทธิ์แรงต้านได้จากการทดสอบในกรณีนี้จึงมีค่าต่ำสุด

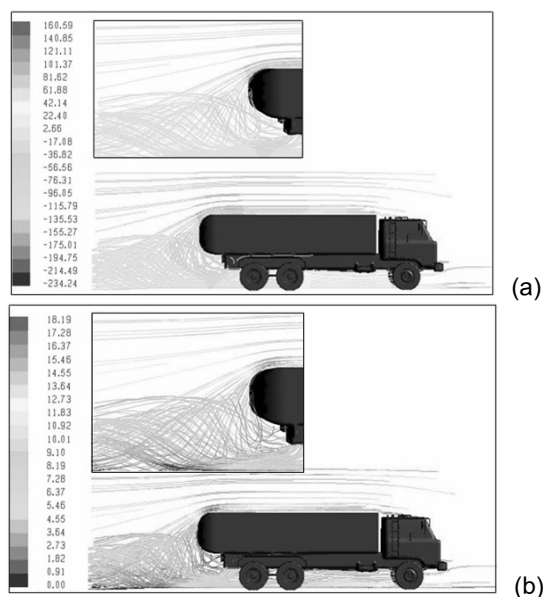


Figure 11 Pathline of dump box equipped with ellipsoid shape at rear end, (a) statics pressure and (b) velocity

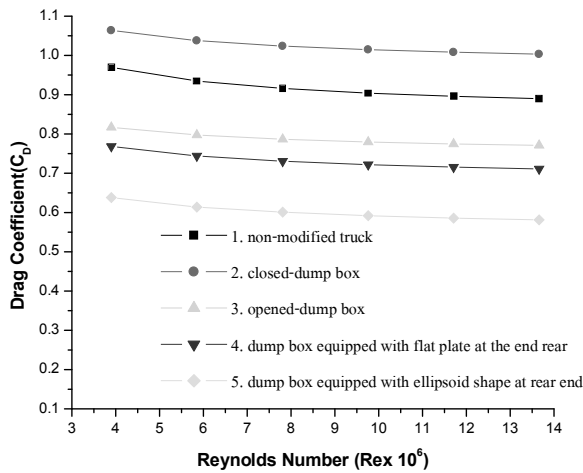


Figure 12 Drag Coefficient on increasing Reynolds Number (speed of truck)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

มีนักวิจัยที่คิดค้นวิธีคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกเล็ก โดย Leuschen and Cooper ได้สร้างสูตรการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ของการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกขนาดใหญ่ดังนี้

$$\Delta\mu(V_t) = \frac{\rho \times UCF \times SFC \times V_t^2 \overline{\Delta C_D}(V_t) A}{0.85} \quad (2)$$

$\Delta\mu(V_t)$ การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ความเร็วกำหนด (liters/100 km)

ρ ความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m³

UCF ค่าแฟคเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงหน่วยเท่ากับ 1.072

0.85 ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของรถคิดที่ความเร็วเฉลี่ย

SFC อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ (liters/kW-h)

$\overline{\Delta C_D}(V_t)$ ผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านเทียบกับกรณีปกติที่ความเร็วกำหนด

A พื้นที่หน้าตัดของรถ 6.41153 m²

ผลที่ได้จากการคำนวณค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วเฉลี่ย ตามสมการ (2) โดยนำผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ความเร็วต่างกัน ที่เปลี่ยนแปลงจากกรณีที่ 1 (ความเร็ว 36-126 km/hr) ดัง Figure 12 ซึ่งเป็นการแปลง

ค่าความเร็วของรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นเป็นค่าเรโนลด์แสดงให้เห็นว่า เกือบทุกกรณีดังกล่าว สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ ยกเว้นกรณีที่ 2 ปิดกระบะบรรทุก ทำให้เพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ส่วนกรณีที่ 5 ทำยกระบะบรรทุกทรงรีสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้มากที่สุดคือ -21.86 % จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลตาม Table 3

Table 3 Fuel consumption to average velocity

Case studies	Liters / 100 km	Percentage
1. non-modified truck	-	-
2. closed-dump box	2.33	7.76%
3. opened-dump box	-2.59	-8.63%
4. dump box equipped with flat plate at the end rear	-3.82	-12.73%
5. dump box equipped with ellipsoid shape at rear end	-6.56	-21.86%

สรุป

จากการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยวิธีจำลองเชิงตัวเลขสรุปได้ดังนี้กรณีทำยกระบะบรรทุกแบบทรงรี ช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงต้านลงมากที่สุดคือ -0.3164 (ที่ความเร็วเฉลี่ย) เมื่อเทียบกับกรณีรถบรรทุกปกติ ลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันได้ -21.86% แต่กรณีปิดกระบะบรรทุกนั้น ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 0.1068 (ที่ความเร็วเฉลี่ย) เพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเป็น 7.76% ส่วนกรณีทำยกระบะเฉียงและกรณีเปิดกระบะบรรทุกออกนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลงลงเป็น -0.1865 และ -0.1306 ช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันได้ -8.63% และ -12.73% ตามลำดับอย่างไรก็ตาม จากผลดังกล่าว คือการนำค่าปัจจัยที่ได้จากการจำลอง CFD นำมาคำนวณเป็นค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นตัวเลขผลลัพธ์ในเชิงทฤษฎีเท่านั้นดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และทดสอบจริง เพื่อเปรียบเทียบ และยืนยันผล ความถูกต้อง เพื่อปรับปรุงให้ได้แนวทางในการแก้ไขสู่การนำไปใช้จริงในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนกับโครงการวิจัยนี้ จาก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามมติคณะรัฐมนตรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2557
- [2] ปรัชญา मुखดา, อนุชา สายสร้อยอุทัย ผ่องรัศมี, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, วิระพันธ์ สีหานาม. การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันในการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเล็ก. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี; 2553.
- [3] ปรัชญา मुखดา และอนุชา สายสร้อย. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันกับลักษณะอากาศพลศาสตร์ของรถกระบะ ที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2554; 13(4):42-51.
- [4] กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ปรัชญา मुखดา และวิระพันธ์ สีหานาม. การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกเล็กกรณีวิ่งตามกัน. วารสาร ม. อบ 2552; 11(1):16-26.
- [5] Van Dam CP. Recent experience with different methods of drag prediction. Progress in Aerospace Sciences 2009;35:751-798.
- [6] Leuschen J, Cooper KR. Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers. SAE 2006.

การเปรียบเทียบเทคนิคเหมืองข้อมูลในการจำแนกใบหน้า

Comparison of Data Mining Techniques In Face Recognition

ชลิตา เจริญเนตร,¹ จารี ทองคำ,² สิทธีชัย บุษหมั่น³

Chalita Chareonnet,¹ Jaree Thongkam,² Sittichai Budsmun³

Received: 18 August 2014 ; Accepted: 26 December 2014

บทคัดย่อ

การพยากรณ์และจำแนกใบหน้าแบบอัตโนมัติเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย มีนักวิจัยมากมายได้ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลที่จะระบุเพศจากใบหน้า ปัจจุบันเทคนิคเหมืองข้อมูลเข้ามามีบทบาทในการจำแนกเช่น Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naïve bay, K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision Trees งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคเหมืองข้อมูลที่นิยมมาใช้ในการจำแนกใบหน้าของคนจำนวน 15 คน แต่ละคนมี 10 อิริยาบถที่แตกต่างกันออกไป จากฐานข้อมูลใบหน้าของ Yale Center for Computational Vision and Control โดยใช้ 10-fold Cross Validation โดยใช้ค่าความถูกต้อง ค่าเรียกคืน และค่าเอฟเมเชอในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคในการจำแนกใบหน้า จากการทดลองพบว่าเทคนิค MLP มีความถูกต้องของการจำแนกดีกว่าการจำแนกด้วย Support Vector Machine, Naïve bay, K-Nearest Neighbor และ Decision Trees

คำสำคัญ: ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน การรู้จำใบหน้า การจำแนก การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ค่าคุณลักษณะเด่น

Abstract

Forecasting and automatic face recognition research is challenging. Several researchers have used data mining techniques to identify the gender from their faces. Thus, data mining techniques including Support Vector Machine (SVM), MultiLayer Perception (MLP), Naïve bay, K-Nearest Neighbor (K-NN) and Decision Trees, have played a greater role in classification problems and face recognition. In this paper, those data mining techniques are employed to recognize 15 people's face from different angles from Yale Center for Computational Vision. Control 10-fold cross validation, precision, recall and F-measure were utilized to evaluate the performance and effectiveness of SVM, MLP, Naïve bay, K-NN and Decision Trees. The experimental results showed that MLP is superior to SVM, Naïve bay, K-NN and Decision Trees.

Keywords : Support vector machine, Face recognition, classification, Principal Component Analysis, The Features

บทนำ

การรู้จำใบหน้ามีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการรู้จำใบหน้านั้นเป็นเรื่องที่ยากและท้าทายในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถด้านการมองเห็นให้คล้ายหรือเทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์มากที่สุดและมีความสามารถ

ในการจดจำและระบุตัวตนซึ่งกันและกันได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่ในทางคอมพิวเตอร์นั้นเป็นสิ่งที่ยากและมีข้อจำกัดหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเรื่องของแสงสีผิวลักษณะท่าทางการแสดงออกทางใบหน้าที่เปลี่ยนแปลงของใบหน้าตามกาลเวลารวมทั้งขนาดของข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่มี

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

¹ Graduate students, ²Assistant Professor, ³Prof., Faculty of Informatics Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150, Thailand.

^{*} Corresponding author; Sittichai Budsmun, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University, Maung District, MahaSarakhm, 44000 Thailand.

จำนวนมหาศาลและการคำนวณที่ซับซ้อนเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับการสร้างระบบมองเห็นในคอมพิวเตอร์ ในกระบวนการรู้จำใบหน้าแบ่งเป็นกระบวนการทำงานหลักๆ อยู่สองขั้นตอนคือขั้นตอนการหาคุณลักษณะเด่นของภาพต้นแบบไว้และขั้นตอนการหาวัดความคล้ายของข้อมูลต้นแบบและข้อมูลทดสอบ^{1,2}

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยมากมายพยายามพัฒนาเทคนิควิธีในการรู้จำใบหน้า และใช้ขั้นตอนวิธีการจำแนกด้วยวิธีการต่างๆ เช่นในงานวิจัยของปริณทรและพิสิฐ รู้จำยี่ห้อและทะเบียนรถยนต์ โดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน(SVM)³ ยังมีการนำโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ไปใช้กับเทคโนโลยีไบโอเมตริกส์เพื่อใช้ในการยืนยันตัวตน⁴ งานวิจัยของมณีนรัตน์ ที่ใช้ขั้นตอนวิธี Naive Bay ในการจำแนกภาพยานพาหนะ⁵

การค้นหาเทคนิคเหมือนข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลการวิเคราะห์โรคอัตโนมัติ โดยนิเวศ จิระวิชิตชัย เพื่อค้นหาเทคนิคด้านเหมือนข้อมูล เพื่อสร้างโมเดลการวิเคราะห์โรคอัตโนมัติ ทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนก⁶ งานวิจัยของ นรุตม์ บุตรพลอย การประยุกต์ Soft Computing และ k-Nearest Neighbor เพื่อใช้ประมาณค่าสูญหายของข้อมูล เป็นการหาสมาชิกที่มีความใกล้ชิดกับข้อมูลที่สูญหายมา k ตัว เพื่อมาประมาณค่า⁷

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจำแนกข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network , Naive Bay, K-Nearest Neighbor และ Decision trees โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบความถูกต้องของโมเดลจำแนกข้อมูลแบบ K-fold Cross Validation ที่ค่อนข้างได้ผลดีในแง่ของความถูกต้องเพราะจะทำให้จำนวนของข้อมูลทั้งหมด ได้ผ่านขั้นตอนการจำแนก⁸

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. Support Vector Machine(SVM)

Support Vector Machine (SVM)⁹ คือ เทคนิคที่ใช้การสร้างสมการเส้นตรงเพื่อแบ่งเขตข้อมูล 2 กลุ่มออกจากกันโดย SVM พยายามสร้างเส้นแบ่งตรงกึ่งกลางระหว่างกลุ่มให้มีระยะห่างระหว่างขอบเขตของทั้งสองกลุ่มให้มากที่สุด SVM ใช้ฟังก์ชันแม็บสำหรับย้ายข้อมูลจาก Input Space ไปยัง Feature Space และสร้างฟังก์ชันวัดความคล้ายที่เรียกว่า (Kernel Function) สามารถแสดงได้ดัง Figure 1

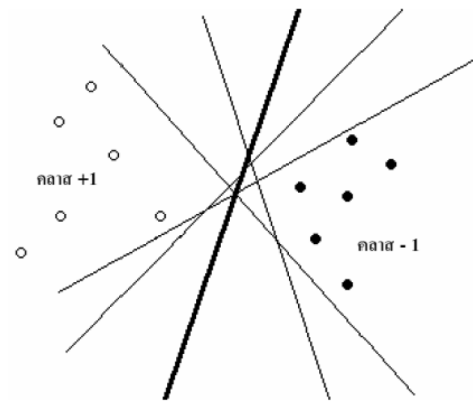


Figure 1 The concept of support vector Machine⁹

2. Multilayer Perceptron (MLP)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP¹⁰ คือ เทคนิคที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยสร้างโครงข่ายเป็นแบบหลายๆชั้น ใช้สำหรับงานที่มีความซับซ้อนได้ผลเป็นอย่างดี โดยมีกระบวนการฝึกฝนเป็นแบบมีผู้สอน (Supervise) และใช้ขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Back propagation) สำหรับการฝึกฝนกระบวนการส่งค่าย้อนกลับ ประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย คือ การส่งผ่านไปข้างหน้า (Forward Pass) การส่งผ่านย้อนกลับ (Backward Pass) สำหรับการส่งผ่านไปข้างหน้า ข้อมูลจะผ่านเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่ชั้นข้อมูลเข้า และจะส่งผ่าน จากอีกชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งจนกระทั่งถึงชั้นข้อมูลออก ส่วนการส่งผ่านย้อนกลับค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อจะถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับกฎการแก้ข้อผิดพลาด (Error-Correction) คือผลต่างของผลตอบที่แท้จริง (Actual Response) กับผลตอบเป้าหมาย (Target Response) เกิดเป็นสัญญาณผิดพลาด (Error Signal) ซึ่งสัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งย้อนกลับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมในทิศทางตรงกันข้ามกับการเชื่อมต่อ และค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อจะถูกปรับจนกระทั่งผลตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ผลตอบเป้าหมาย^{11,12} สามารถแสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ได้ดัง

Figure 2

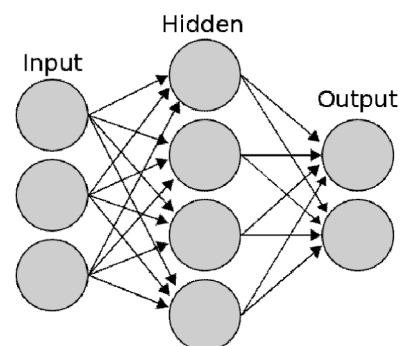


Figure 2 The architecture of Multilayer Perceptron¹²

3. Naive bay

Naive bay¹³ คือ เทคนิควิธีการจำแนกที่ได้รับ ความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานจำแนกหมวดหมู่เอกสาร เนื่องจากความเรียบง่ายของขั้นตอนวิธีและให้ ประสิทธิภาพการจำแนกที่ดี Naive bay เป็นขั้นตอนวิธีที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีเบย์ส (Bayes' Theorem) ซึ่งอาศัยหลักความน่าจะเป็นในการทำนายผลลัพธ์ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์

4. K-Nearest Neighbor (K-NN)

K-Nearest Neighbor (K-NN)¹⁴ คือเทคนิคที่มีการจำแนกประเภทข้อมูลโดยขึ้นกับข้อมูลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงที่สุด K ตัวจากข้อมูลบนชุดข้อมูลตัวอย่างทำงานโดยขึ้นกับระยะทางน้อยสุดจากสมาชิกใหม่ หรือข้อมูลที่ป้อนเข้ามา(Input Query Instance) กับข้อมูลตัวอย่างฝึกฝน จะคำนวณหาเพื่อนบ้านที่ ใกล้เคียงที่สุด K ตัว หลังจากนั้นเราจะรวบรวมสมาชิกที่ใกล้เคียงที่สุด K ตัวแล้วเลือกคลาสที่ สมาชิกส่วนใหญ่ที่สุดในกลุ่ม K ดังกล่าวสังกัดอยู่มากที่สุดให้กับสมาชิกใหม่ ข้อมูลการจำแนกโดยใช้ข้อมูลข้างเคียง K ตัว ประกอบด้วย แอทธิบิวต์หลายตัวแปร X_i ซึ่งจะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่ม Y_i โดยระบุค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวกให้กับ K ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกรายการของกรณี (case) ที่จะต้องค้นหาในการทำนายกรณีใหม่ อัลกอริทึมแบบ K-NN ได้แก่

1-NN, 2-NN , 3-NN , ... K-NN

5. Decision trees

Decision trees¹⁵ คือ เทคนิคที่ใช้ในการจำแนก โดยการทำงานของกระบวนการ ที่มีเงื่อนไขการตัดสินใจแสดง อยู่ในรูปของโหนด (Nodes) เชื่อมต่อกับเงื่อนไขการตัดสินใจ อีกเงื่อนไขหนึ่งด้วยเส้นตรง โดยเส้นทางการตัดสินใจในแต่ละเงื่อนไขจะสิ้นสุดลงที่กิจกรรมวิธีนี้เป็นการใช้ผังต้นไม้ในการเขียนอธิบายการประมวลผลโดยจำลองกิ่งก้านสาขาของต้นไม้เป็นหลักโดยแตกจากรากทางซ้ายมือ แตกเป็นกิ่งอยู่ทางขวา มือ แตกกิ่งไปเรื่อย ๆ จนครบเงื่อนไขทั้งหมดและกิ่งสุดท้ายของทุกกิ่งคือกิจกรรมที่ต้องกระทำ เมื่อเป็นตามเงื่อนไขนั้น สามารถแสดงได้ดัง Figure 3

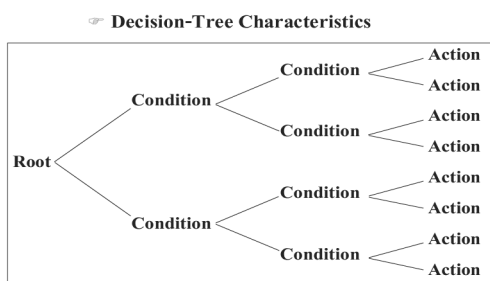


Figure 3 The concept of Decision trees¹⁵

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีในการดำเนินการวิจัยการวัดประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีการจำแนก โดยใช้วิธีการดึงลักษณะเด่นของภาพใบหน้าทั้ง ภาพมาทำการจำแนกโดยนำภาพส่วนที่เป็นใบหน้าไปแปลง เป็นภาพระดับสีเทา จากนั้นจึงแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 หรือ 4 ส่วน แล้วนำแต่ละส่วนไปหาค่าคุณลักษณะเด่นของ ภาพด้วยวิธีวิเคราะห์หองค์ประกอบหลักจากนั้นจึงทำการ จำแนกข้อมูลและวัดประสิทธิภาพผลการทดลองที่ได้ สามารถ แสดงได้ดัง Figure 4

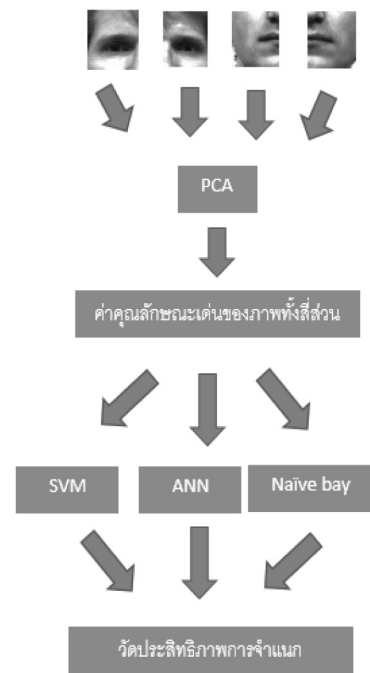


Figure 4 Research procedures

เตรียมข้อมูลในการประมวลผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับฐานข้อมูลใบหน้า Yale สร้างโดย Yale Center for Computational Vision and Control ประกอบไปด้วยภาพใบหน้าจำนวน 150 ภาพ ของ บุคคลจำนวน 15 คน คนละ 10 ภาพ มีการแสดงออกทาง ใบหน้าหลากหลาย ได้แก่ ภาพที่ลืมตา หลับตา มีรายละเอียด ของใบหน้าใสแฉ่น ไม่ใสแฉ่น ภาพที่มีแสงเข้าจากทางด้านขวา ของภาพ ทุกภาพเป็นภาพสี และภาพที่นำเข้ามาทำการ ทดลองจะเลือกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นใบหน้าเท่านั้น

แปลงภาพใบหน้าจากภาพสีไปเป็นภาพระดับเทา

แยกระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกันในรูปแบบสี RGB จากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการเพื่อคำนวณค่าค่า สีเทา และนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม สามารถคำนวณ ได้ในดังสมการที่ 3 และผลที่ได้จะแสดงดัง Figure 5

$$G' = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (3)$$

จะได้ผลลัพธ์ดังภาพ^{16,17}

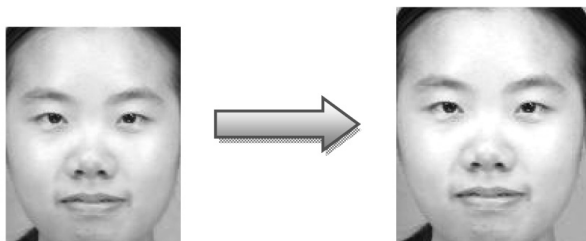


Figure 5 RGB to Gray scale

การแบ่งพื้นที่ของภาพใบหน้า

วิธีการแบ่งพื้นที่ภาพใบหน้าเพื่อหาค่าคุณลักษณะเด่นในการรู้จำ โดยจะแบ่งพื้นที่ภาพใบหน้าออกเป็นขนาด 2x2 สามารถแสดงได้ดัง Figure 6

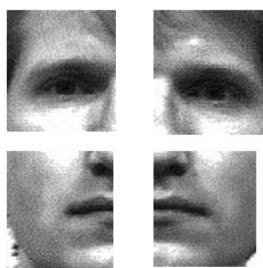


Figure 6 The partitioned facial images

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA)¹⁸ เป็นวิธีที่ใช้ทฤษฎีใบหน้าไอเกน มาใช้แทนข้อมูลเวกเตอร์ภาพใบหน้าด้วยไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) และได้มีการวิจัยในเรื่องการรู้จำโดยใช้วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ในการหาค่าคุณลักษณะเด่นของใบหน้าที่ต้องการรู้จำและวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลักยังให้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพดี วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมีขั้นตอนการทำงานคือ^{19,20}

1. ทำการแปลงโครงสร้างเมตริกซ์ ข้อมูลไปเป็นเวกเตอร์ 1 แถว
2. คำนวณหาไอเกนเวกเตอร์ที่สอดคล้องกันกับค่าไอเกน
3. นำไปคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของภาพเพื่อนำไปทำการรู้จำและแปลงเมตริกซ์ภาพ ขนาด 1 แถว โดยการนำแต่ละแถวของเมตริกซ์ภาพมาเรียงต่อกันเป็นเวกเตอร์ขนาด 1xD, D=N²จะได้ชุดข้อมูลฝึกสอนดังนี้

โดยที่ \bar{x} คือ เมตริกซ์ภาพขนาด 1 มิติ

$$\bar{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4)$$

นำข้อมูลไปคำนวณหาค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูล เมตริกซ์โควาเรียนซ์ (Covariance Matrix) จากสมการ

$$C = AA^T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{m})(\bar{x}_i - \bar{m})^T \quad (5)$$

โดยที่ \bar{m} คือ ค่าเฉลี่ยของภาพ
 N คือ จำนวนภาพ
 i คือ ภาพที่
 C คือ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

\bar{x} ที่ได้มาจากภาพที่ i ลบด้วยค่าเฉลี่ยของภาพ $\bar{X}_i = \bar{x}_i - \bar{m}$ และนำค่า C ไปคำนวณหาไอเกนเวกเตอร์ที่สอดคล้องกับค่าไอเกน ดังสมการ

$$C_u = \lambda_u \quad (6)$$

โดยที่ λ_u คือ ไอเกนเวกเตอร์ที่สอดคล้องกับค่าไอเกน

เรียงลำดับไอเกนเวกเตอร์ที่สอดคล้องกับค่าไอเกนจากมากไปน้อย แล้วตัดเอาเฉพาะค่าที่ไม่เท่ากับศูนย์ $U_{PCA} = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_{N-1}]$ แล้วทำการสกัดเอาลักษณะเด่นของภาพ เพื่อนำไปใช้ในการรู้จำจากสมการ

$$Y_k = U_d^T (\bar{x}_k - \bar{x}); k = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

โดยที่ Y_k คือ ลักษณะเด่นภาพที่ k
 d คือ ค่ามิติที่เลือกกระหว่าง 1 ถึง $N-1$ และ K คือ จำนวนภาพ N ภาพ
 U คือ ไอเกนเวกเตอร์ที่ไม่เท่ากับศูนย์

ตัวอย่างค่าคุณลักษณะเด่นของภาพจะสามารถแสดงได้ดัง Figure 7

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
299823	312289.3	322220.5	333178.9	342657.1	350221	358728	363085.8	372316.1	378022.3	376996.9	381371.1	380218.1
231328.7	233743.3	224109.5	229036.4	228326.6	224827.2	233386.1	227817.7	226133.4	231266.1	224998.5	237366.5	242404.1
192797.4	184517.8	188580.2	185500	190045.3	187360.4	191367.8	192115	193676.8	192591.2	196545.8	199548.4	206036.4
92903.53	95594.7	92056.13	93219.01	90382.54	95083.69	92839.4	98015.19	88387.1	105934.6	94332.18	111483.5	103324.5
169513.2	173826.2	170577.3	170947.9	176689	176613.2	174768.5	178610.9	175596.6	184141	185977.8	189637.3	195297.7
223262.5	226318.7	220482.9	223464.9	225057.4	232632.5	228099.7	238067.1	237238.7	240214.1	238334.6	243576.1	240080.5
229375.7	219541.6	203473.7	208481.8	231215.9	230731.5	240749.4	242889.8	251595.4	252371.6	271382.3	264015.8	276338.2
216103.6	213703.8	214353.6	214460.6	214349	218443.6	222057.4	221532.3	226396.4	228186	232311.2	233897.6	235341.5
323509.1	318525.1	320354.2	321313.9	320535	325883.8	326444.1	328555.8	332756.6	333319.9	335819.3	337496.6	335690.9
12664.7	8296.57	8766.301	12103.64	14238.45	13621.12	14386.45	16090.9	15580.3	14196.23	14062.9	11880.53	12717.78
202209.8	191218.9	194636.5	184017.3	191386.4	182351.7	184420.9	170513.3	175511.2	172354	182068.3	159951.6	160002.7
293671.4	296707.1	305150.5	304363.2	308857.9	313750.9	313841.8	318764.9	309242	314576	317819.5	310861.3	303537.3
220015.3	-98080.9	-118010	-125196	-119807	-133622	-105722	-68863	-45840.7	-10212.4	16818.7	21316.06	62389.13

Figure 7 The features of the principal component analysis

การวัดประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพื่อวัดความถูกต้องและแม่นยำในการค้นหา ด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าเรียกคืน (Recall) และวัดประสิทธิภาพโดยรวมด้วยค่า F-Measure เป็นผลการเฉลี่ยของค่าความแม่นยำ และค่าเรียกคืน ซึ่งมีสูตรต่างๆ ดังนี้²¹

ค่าความแม่นยำ

$$\text{Precision (P)} = \frac{A}{A+B} \times 100 \tag{8}$$

ค่าเรียกคืน

$$\text{Recall (R)} = \frac{A}{A+C} \times 100 \tag{9}$$

ค่า F-Measure

$$\text{F-Measure} = \frac{2PR}{P+R} \times 100 \tag{10}$$

เมื่อ A = จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นและตรงตามความต้องการ

B = จำนวนข้อมูลที่ต้องตามความต้องการในฐานข้อมูลแต่ไม่ได้ค้นคืนมา

C = จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นแต่ไม่ตรงตามความต้องการ

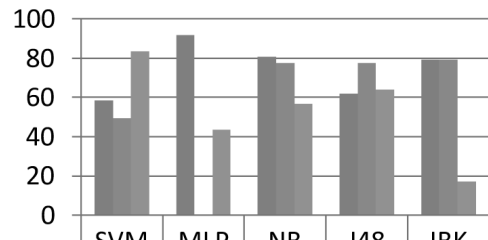
ผลการทดลอง

การทำการทดลองครั้งนี้ได้ผู้วิจัยได้นำเอา Weka ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเป็นที่นิยม และมีความหลากหลายในการทดลอง จะต้องทำการสุ่มเลือกข้อมูลชุดสอนและข้อมูลชุดทดสอบ แบบสุ่มความเที่ยงตรง 10-fold Cross Validation ในการค้นหาใบหน้าที่มีความเหมือนและใกล้เคียงกันโดยใช้ฐานข้อมูลภาพใบหน้าจำนวนทั้งหมด 150 ภาพ จากบุคคล 15 คน ทดลองนำข้อมูลภาพใบหน้าทั้งหมดจำแนกด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive bay,K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision

Trees การทดลองที่สองการแบ่งข้อมูลออกเป็นขนาด 2x2 และจำแนกด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive bay,,K-Nearest Neighbor (K-NN) และDecision Trees และการทดลองที่สามแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 แล้วนำไปหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) จากนั้นจึงจำแนกด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive bay,,K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision Trees

การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของแบบจำลอง

ค่าความแม่นยำ (precision) เป็นค่าที่แสดงถึงความถูกต้องของการจำแนกใบหน้าจากใบหน้าที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ในการทดลองนี้ได้ใช้ค่าความแม่นยำในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง จากข้อมูลที่ไม่มีการแบ่งภาพ ข้อมูลที่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 และภาพที่ถูกแบ่งเป็นขนาด 2x2 แล้วจึงทำการหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วยวิธี PCA จากการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive Bay,K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision Trees ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดัง Figure 8



	SVM	MLP	NB	J48	IBK
Raw	58.4	91.4	80.5	61.9	79.2
2x2Raw	39.8	N/A	69.8	77.5	79.2
2x2+PCA	46.8	N/A	80.5	64.1	16.9

Figure 8 Precision of models

Figure 8 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลอง ซึ่งการจำแนกด้วยเทคนิค MLP ของข้อมูลดิบมีค่า F-measure ดีกว่าเทคนิคอื่นๆ รองลงมาคือการจำแนกด้วยเทคนิค SVM ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ และเทคนิควิธีที่ให้ผลการจำแนกต่ำที่สุดคือ IBK ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ โดยผลการจำแนกของเทคนิค MLP ที่ใช้ข้อมูลการแบ่งภาพเป็น 2x2 ส่วน และไม่หาค่าคุณลักษณะเด่นของภาพนั้นไม่สามารถแสดงผลได้เนื่องจากมีขนาดของมิติมากเกินไป

การเปรียบเทียบค่าเรียกคืนของแบบจำลอง

ค่าเรียกคืน (Recall) เป็นเป็นค่าที่แสดงถึงความถูกต้องของการจำแนกใบหน้าจากใบหน้าทั้งหมด ในการทดลองนี้ ได้ใช้ค่าเรียกคืนในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วยข้อมูลที่ไม่มีการแบ่งภาพ ข้อมูลที่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 และภาพที่ถูกแบ่งเป็นขนาด 2x2 และมีการหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วยวิธี PCA จากการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive Bay, K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision Trees ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดัง Figure 9

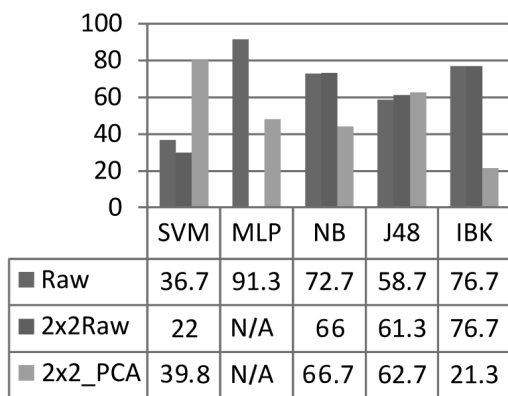


Figure 9 Recall of models

Figure 9 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งการจำแนกด้วยเทคนิค MLP ของข้อมูลดิบมีค่า F-measure ดีกว่าเทคนิคอื่นๆ รองลงมาคือการจำแนกด้วยเทคนิค SVM ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ และเทคนิควิธีที่ให้ผลการจำแนกต่ำที่สุดคือ IBK ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ โดยผลการจำแนกของเทคนิค MLP ที่ใช้ข้อมูลการแบ่งภาพเป็น 2x2 ส่วน และไม่หาค่าคุณลักษณะเด่นของภาพนั้น ไม่สามารถแสดงผลได้เนื่องจากมีขนาดของมิติมากเกินไป

การเปรียบเทียบค่า F-measure ของแบบจำลอง

ค่า F-measure เป็นการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของแบบจำลอง ด้วยข้อมูลที่ไม่มีการแบ่งภาพ ข้อมูลที่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 และภาพที่ถูกแบ่งเป็นขนาด 2x2 และมีการหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วยวิธี PCA จากการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), Naive Bay, K-Nearest Neighbor (K-NN) และ Decision Trees ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดัง Figure 10

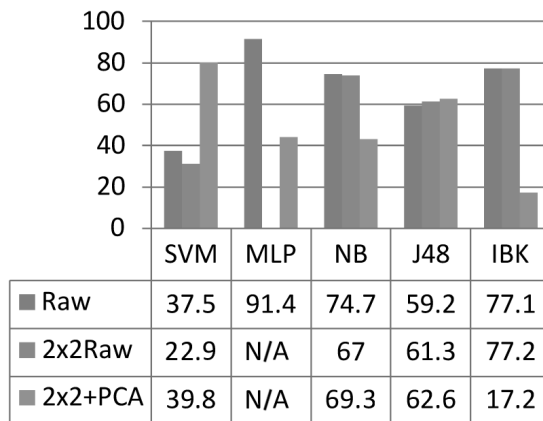


Figure 10 F-measure of models

Figure 10 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของแบบจำลอง ซึ่งการจำแนกด้วยเทคนิค MLP ของข้อมูลดิบมีค่า F-measure ดีกว่าเทคนิคอื่นๆ รองลงมาคือการจำแนกด้วยเทคนิค SVM ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ และเทคนิควิธีที่ให้ผลการจำแนกต่ำที่สุดคือ IBK ของข้อมูลที่แบ่งภาพออกเป็น 2x2 หรือ 4 ส่วน และนำไปหาค่าลักษณะเด่นของภาพ โดยผลการจำแนกของเทคนิค MLP ที่ใช้ข้อมูลการแบ่งภาพเป็น 2x2 ส่วน และไม่หาค่าคุณลักษณะเด่นของภาพนั้น ไม่สามารถแสดงผลได้เนื่องจากมีขนาดของมิติมากเกินไป

สรุป และอภิปรายผล

จากการนำเทคนิคใหม่ซึ่งข้อมูลรวมถึง การวัดประสิทธิภาพการจำแนกโดยใช้เทคนิค SVM, MLP, Naive Bay, K-NN และ Decision Trees เพื่อใช้ในการรู้จำใบหน้า ของภาพใบหน้าที่ไม่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 หรือ 4 ส่วน และข้อมูลที่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 ส่วน และข้อมูลที่มีการแบ่งภาพออกเป็นขนาด 2x2 ส่วน แล้วนำไปหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) จากนั้นจึงวัดประสิทธิภาพของเทคนิควิธีการจำแนกต่างๆ โดยเทคนิควิธี MLP สามารถสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพในการทำนายมากที่สุด ซึ่งให้ผลของค่าความแม่นยำ (Precision) เท่ากับ 91.4% ผลของค่าเรียกคืน (Recall) เท่ากับ 91.3% และผลของค่า F-measure เท่ากับ 91.4% จากข้อมูลดิบที่ไม่จำเป็นจะต้องมีการแบ่งภาพและหาค่าคุณลักษณะเด่นของภาพ²² ที่ทำการเปรียบเทียบการจำแนกข้อมูลด้วย MLP และ SVM ผลการทดลองปรากฏว่า MLP ให้ผลการทำนายดีกว่า SVM

เอกสารอ้างอิง

- [1] Poon Bruce AMA, Hong Y. PCA Based Face Recognition And Testing Criteria. Proceedings of the Eighth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Baoding; 12-15 July 2009; Baoding. IEEE; 2945 - 2949.
- [2] สิทธิโชค มุกดาสกลภูบาล. การวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีตัวจำแนก C4.5, ADTree และ Naïve Bayes ในการจำแนกข้อมูลการชุกซ่อนสิ่งเสพติดสำหรับไปรษณีย์ระหว่างประเทศ 18 มิถุนายน 2551; เกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 34-48.
- [3] ปรินทร์ ไชยคำจันทร์, ทิสิฐ วัตะโส. ระบบรู้จำยี่ห้อและทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติโดยแสดงผลลัพธ์ทางเสียง. ขอนแก่น. 1-6.
- [4] ศุภกานต์ พิมลขเรศ. เทคโนโลยีไปโอเมตริกบนโครงข่ายประสาทเทียม. มกราคม-มีนาคม 2553; มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพมหานคร. 90-103.
- [5] มณีรัตน์ บุญวงษ์. ระบบรู้จำภาพยานพาหนะ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2553.
- [6] นรุตม์ บุตรพลอย. การประยุกต์ Soft Computing และ k-Nearest Neighbor เพื่อใช้ประมาณค่าสูญหายของข้อมูล. NTIC 2010; มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 25-29.
- [7] นิเวศ จิระวิจิตรชัย. การค้นหาเทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลการวิเคราะห์โรคอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 131.
- [8] Tomesh Verma R. PCA-LDA Based Face Recognition System & Results Comparison By Various Classification Techniques. 2010.
- [9] C. Manop VK, S. Chunwiphat. SVM-Based Stator Fault Diagnosis for Induction Motors using DQ0 Voltage Components. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, September 2010 2010; 64539-4553.
- [10] Rosenblatt Fx. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan Books. Washington DC 1984:245-248.
- [11] ราตรี จันทนะทรัพย์, นิดาพรรณ สุวีรัตน์. การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยโดยใช้เทคนิคเอาดอร์ฟดิสแทนซ์. 2005; 281-286.
- [12] จิราพร สุกใหญ่. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเลือกคุณลักษณะข้อมูลสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเอ็กซ์ทรีม. NCSEC 2010 17-19 พย. 2553; เทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์. 6.
- [13] Hand DJ, Yu K. Idiot's Bayes — not so stupid after all? International Statistical Review 69 (3) 2001; 69[ISSN 0306-7734]; 385-398.
- [14] Altman NS. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. The American Statistician 46 (3) 1992; 175-185.
- [15] Quinlan JR. Simplifying decision trees. International Journal of Man-Machine Studies 27 (3) 1987; 221.
- [16] Fuhua SHANG HW NM. Peak Depth Correction of Logging Curves Based on Hausdorff Distance. International Conference on Advanced Computer Theor and Engineering(CTE) 2010; 2010; 111-115.
- [17] Yuankui HaZ W. A similarity measure based on Hausdorff distance for human face recognition. Proceedings - 18th International Conference on Pattern Recognition; 2006; 2006; 1131-1134.
- [18] Jackson JE. A User's Guide to Principal Components Wiley Series in Probability and Statistics: 1 DEC 2004:575.
- [19] EAad H. PCA and LDA based Neural Networks for Human Face Recognition. In: Face Recognition Book I---, ed. 2007:558.
- [20] Jian Yang DZ J-yY. Median LDA: A Robust Feature Extraction Method for Face Recognition. International Conference on Systems, Man, and Cybernetics; Taipei, Taiwan. 4208-4213.
- [21] รุจิรา ธรรมสมบัติ, ทองพูล หีบไธสง. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อช่วยค้นหาโรงแรมในอำเภอหัวหิน โดยใช้ตารางการตัดสินใจ. The 5th National Conference on Computing and Information Technology; 887-892.
- [22] ภรณ์ยา อำนวยรัตน์, ดร.พยุ่ง มีสัจ. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดมิติข้อมูลและจำแนกข้อมูลโดยวิธีการทางเครือข่ายประสาทเทียม การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11. 2010:58-65.

การเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายสำหรับการบันทึกข้อมูลล็อกที่ถูกต้อง

The Enhancement of Egress NAC Systems for Valid Logging

อรรถพล สุวรรณษา,¹ สมนึก พวงพรพิทักษ์¹

Atthapol Suwannasa,¹ Somnuk Puangpronpitag¹

Received: 28 September 2014 ; Accepted: 14 November 2014

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายมีความสำคัญคือใช้ยืนยันตัวตนผู้ใช้งานก่อนเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ต หนึ่งในส่วนประกอบสำคัญของระบบคือการเก็บข้อมูลการเข้าใช้งานของผู้ใช้ (Log) จากข้อกำหนดของ พรบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ ปี พ.ศ. 2550 หลายหน่วยงานลงทุนจำนวนมากกับระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายและการเก็บ Log ผู้ใช้ และใช้ MAC address เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการอ้างอิงเครื่องผู้ใช้ แต่เครือข่ายเหล่านี้จะต้องมีการเชื่อมต่อผ่านหลาย Hop ทำให้ค่า MAC address ของผู้ใช้เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละ Hop ระบบจึงเก็บข้อมูลดังกล่าวผิดพลาดและล้มเหลวต่อการนำข้อมูล Log มาใช้งาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการพัฒนาระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่มีส่วนประกอบของเทคโนโลยี JAVA Applet เพื่อใช้ในการดึงค่า MAC Address ที่ถูกต้องจากเครื่องผู้ใช้ ผลการพัฒนาระบบพบว่าสามารถเก็บบันทึกข้อมูลการเข้าใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง โดยที่ไม่ลดประสิทธิภาพในการทำงาน

คำสำคัญ: ระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย ข้อมูลล็อกผิดพลาด หมายเลขแมคแอดเดรส

Abstract

In Egress Network Access Control (egress NAC) it is crucial to authenticate users before they access the Internet. One of the most important parts of the egress NAC is the network traffic log system. According to the Thailand Computer Crime Act of 2007, several organizations spend a lot of money for egress NAC and log keeper systems. In many log systems, MAC Address is used to identify each user's machine. However, most systems are used to control multi-hop connections, in which MAC addresses are changed in each hop. So, these systems end up with storing the invalid user's MAC addresses. When the systems keep the invalid information in their log files, these log files cannot be used as valid evidence to point out the real users. Hence, this paper proposes an enhanced solution by using JAVA Applet technology to collect the real user's MAC addresses. The experimental results have demonstrated that our system can keep valid log information in log files without reducing the system performance.

Keywords: Network Access Control, Invalid Log, MAC Address

¹ อาจารย์, ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาการสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

บทนำ

ในปัจจุบันระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจากภายในสู่ภายนอก (Egress Network Access Control หรือ Egress NAC) มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมการใช้งานของผู้ใช้ภายในที่สื่อสารกับเครือข่ายภายนอกอย่างอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกเก็บบันทึกลงในบันทึกข้อมูลการจราจรทางเครือข่าย (Network Traffic Log) เพื่อเป็นการยืนยันพฤติกรรมการเข้าถึงเครือข่ายภายนอกของผู้ใช้แต่ละราย โดยหากมีการกระทำผิดก็สามารถที่จะใช้ข้อมูล Log เพื่อใช้ในการตรวจสอบหาตัวผู้กระทำความผิดและเป็นหลักฐานในการมัดตัวผู้กระทำความผิดได้ ดังนั้นการติดตั้ง Egress NAC จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อทุกหน่วยงานหรือองค์กร

ระบบ Egress NAC ทั้ง Open Source Products เช่น Coovachilli¹ Chilispot² และ pfSense³ หรือ Commercial Products ที่มีมูลค่าค่อนข้างสูง เช่น Consentry⁴ Sangfor IAM⁵ หรือ BlueSocket⁶ เป็นต้น ถูกนำมาติดตั้งในหลายหน่วยงานเพื่อควบคุมผู้ใช้และเก็บ Log การใช้งาน แต่ระบบเหล่านี้ยังคงเผชิญกับปัญหาการปลอมแปลงหมายเลขแมคแอดเดรส (MAC Address Spoofing⁷) ทำให้ผู้โจมตีสามารถลักลอบเข้าใช้งานทรัพยากรเครือข่ายได้

จากปัญหาข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาระบบ Egress NAC ที่สามารถป้องกันปัญหา MAC Address Spoofing ได้ คือ ISAN-SNAC⁸ โดยตัวระบบจะมีการติดตั้ง Lightweight Agent ที่เครื่องผู้ใช้งานตัวจริงหลังจากที่ผ่านการยืนยันตัวตนเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้สามารถแยกแยะผู้ใช้งานตัวจริงกับผู้โจมตีได้ แต่ระบบดังกล่าวมีข้อบกพร่องในการเก็บข้อมูล Log อย่าง MAC Address ของผู้ใช้ เมื่อต้องส่งผ่านเครือข่ายขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยเครือข่ายย่อยๆ หลายเครือข่าย ซึ่งข้อมูล MAC Address ที่เก็บจะมีความผิดพลาด โดยแทนที่จะเก็บเป็น MAC Address ของผู้ใช้ แต่กลับเก็บเป็น MAC Address ของ Router หรืออุปกรณ์เครือข่ายตัวที่เชื่อมต่อโดยตรงกับ Egress NAC Server ซึ่งปัญหานี้ไม่ได้เป็นเพียงปัญหาของ ISAN-SNAC เท่านั้น แต่ระบบ Egress NAC ทั้ง Open Source และ Commercial ที่กล่าวมาในข้างต้น และระบบ อื่นๆ อีกหลายระบบ ยังคงมีปัญหาการเก็บ Log ผิดพลาดอันมีสาเหตุมาจากเครื่อง Egress NAC Server (ตั้งอยู่ที่เครือข่ายหลัก เช่น Server Farm) อยู่ต่างเครือข่ายกับเครื่องผู้ใช้ (เครือข่ายย่อย)

ปัญหาการเก็บข้อมูล MAC Address ผิดพลาดทำให้ระบบ Egress NAC และ Log ที่หน่วยงานหรือองค์กรลงทุกอย่างมหาศาลทำงานโดยเปล่าประโยชน์ และไม่สามารถใช้เป็นหลักฐานในการมัดตัวผู้กระทำความผิดได้ตามข้อกำหนดของ

พบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ ปี พ.ศ. 2550 ได้

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะออกแบบระบบ Egress NAC โดยแก้ไขข้อบกพร่องของระบบ Egress NAC ส่วนใหญ่ที่มีปัญหาการเก็บ Log ผิดพลาด ในกรณีนี้ที่ติดตั้ง Egress NAC ในเครือข่ายขนาดใหญ่เพื่อควบคุมเครือข่ายย่อยภายในหลายๆ เครือข่าย เช่น เครือข่ายของมหาวิทยาลัย เป็นต้น โดยทำการพัฒนาต่อยอดจาก ISAN-SNAC ที่ได้มีการนำเสนอก่อนหน้านี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบยืนยันตัวตนแบบภายในสู่ภายนอก (Egress NAC)

ระบบ Egress Network Access Control หรือ Egress NAC เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมผู้ใช้งานภายในก่อนออกสู่เครือข่ายภายนอก ระบบ Egress NAC ส่วนใหญ่ผู้ใช้จะต้องผ่านการยืนยันตัวตน เช่น กรอกข้อมูล Username และ Password เป็นต้น หลังจากที่ใช้กรอกข้อมูลเพื่อยืนยันตัวตน Egress NAC ก็จะทำการตรวจสอบกับฐานข้อมูล หากพบในฐานข้อมูลก็จะทำการเก็บข้อมูล IP Address หรือ MAC Address เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าผู้ใช้ที่มี IP Address และ MAC Address ดังกล่าวผ่านการยืนยันตัวตนแล้ว ไม่จำเป็นต้องยืนยันตัวตนอีกจนกว่าจะ Logout หรือเวลาในการใช้งานหมด (Session Timed Out) และยังคงส่งต่อข้อมูลของผู้ใช้ เช่น Username IP Address MAC Address และ เวลาของการ Login/Logout ไปเก็บบันทึกเป็น Log ของผู้ใช้

หมายเลข MAC Address

ในการสื่อสารบนระบบเครือข่าย การที่เครื่องลูกข่ายจะสามารถสื่อสารได้จำเป็นต้องใช้ IP Address และ MAC Address (Media Access Control Address) ในการสื่อสาร ซึ่ง IP Address ส่วนใหญ่จะถูกแจกจ่ายมาจาก DHCP Server หรือผู้ใช้สามารถทำการตั้งค่าหมายเลข IP Address ของตนเองแบบ Static ให้ถูกต้องกับเครือข่ายที่ใช้งานอยู่ ส่วนหมายเลข MAC Address ถูกกำหนดมาจากทางผู้ผลิต โดยการสื่อสารระดับ MAC Address จะทำงานอยู่ในระดับชั้นที่ 2 ของ OSI Model นั้นทำให้การสื่อสารระบบ MAC ไม่สามารถสื่อสารข้ามเครือข่ายได้ จึงต้องอาศัย IP Address ร่วมกับ MAC Address สื่อสารที่ละ Hop หากต้องมีการสื่อสารไปยังเครือข่ายอื่นๆ ก็จะต้องอาศัยความสามารถของ Address Resolution Protocol (ARP)⁹ ในการสอบถามหมายเลข MAC Address ของปลายทางเพื่อที่จะสื่อสารในแต่ละ Hop

ระบบเครือข่ายที่ใช้ในประเทศไทยและอีกหลายแห่งทั่วโลก ส่วนใหญ่มักยังคงเป็น IPv4 ซึ่งหมายเลข MAC

Address ถูกกำหนดให้มีขนาด 6 ไบต์ หรือ 48 บิต (8 บิต = 1 ไบต์) จากทางผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่าย

ตัวอย่างของ MAC address:
00-0C-G1-54-29-E3

3 ไบต์แรก (00-0C-G1) ระบุถึงโรงงานผู้ผลิต ค่านี้ ได้ถูกกำหนดมาจาก Institute of Electrical and Electronics Engineers หรือ IEEE ส่วน 3 ไบต์หลัง (54-29-E3) ถูกกำหนด โดยโรงงานผู้ผลิต แต่ในบางผู้ผลิตก็ไม่ได้กำหนด 3 ไบต์แรก ตามมาตรฐาน

การเก็บข้อมูล Log ที่ผิดพลาด

เนื่องด้วย พรบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ ปี พ.ศ. 2550 ทุกหน่วยงานต้องติดตั้งระบบยืนยันตัวตนเพื่อ ทำการตรวจสอบผู้ใช้และเก็บ Log การเข้าใช้งานของผู้ใช้ ประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) ข้อมูล Log ที่มีการบันทึกไว้เมื่อมีการเข้าถึง ระบบเครือข่าย
- 2) ข้อมูลเกี่ยวกับวัน และเวลาติดต่อของเครื่องที่ เข้ามาใช้บริการและเครื่องให้บริการ

- 3) ข้อมูลเกี่ยวกับชื่อที่ระบุตัวตนผู้ใช้
- 4) ข้อมูลหมายเลขชุดอินเทอร์เน็ตที่ถูกกำหนดให้ โดยระบบผู้ให้บริการ (IP Address)
- 5) ข้อมูลที่บอกถึงหมายเลขสายที่เรียกเข้ามา (เช่น MAC Address)

แต่ในเครือข่ายขนาดใหญ่ที่จะต้องควบคุมเครือข่าย ขนาดย่อยหลายเครือข่าย ดัง Figure 1 การเก็บ MAC Address ให้ถูกต้องตามผู้ใช้งานจริงๆ ยังมีความผิดพลาด เนื่องจาก MAC Address สื่อสารได้เฉพาะเครือข่าย LAN (Local Area Network) เดียวกัน แต่ Egress NAC Sever มักถูก ติดตั้งที่ Core Layer ของระบบ ซึ่งอยู่ต่างเครือข่ายกับเครื่อง ผู้ใช้ (จะต้องมีการส่งผ่านข้อมูลหลาย Hop) หมายเลข MAC Address ที่ได้ จะเป็นหมายเลขของอุปกรณ์ตัวที่เชื่อมต่อกับ Egress NAC โดยตรง (เช่น 00:21:5b:42:3a:68 ที่ Switch ดัง Figure 1) ไม่ได้เป็น MAC Address ของผู้ใช้จริง (เช่น c8:a3:b9:d9:2f:5d ของเครื่อง User ใน Figure 1) นั้น ทำให้การเก็บข้อมูล MAC Address ผิดพลาด อันส่งผลให้การ นำไปใช้เป็นหลักฐานตาม พรบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับ คอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ล้มเหลว

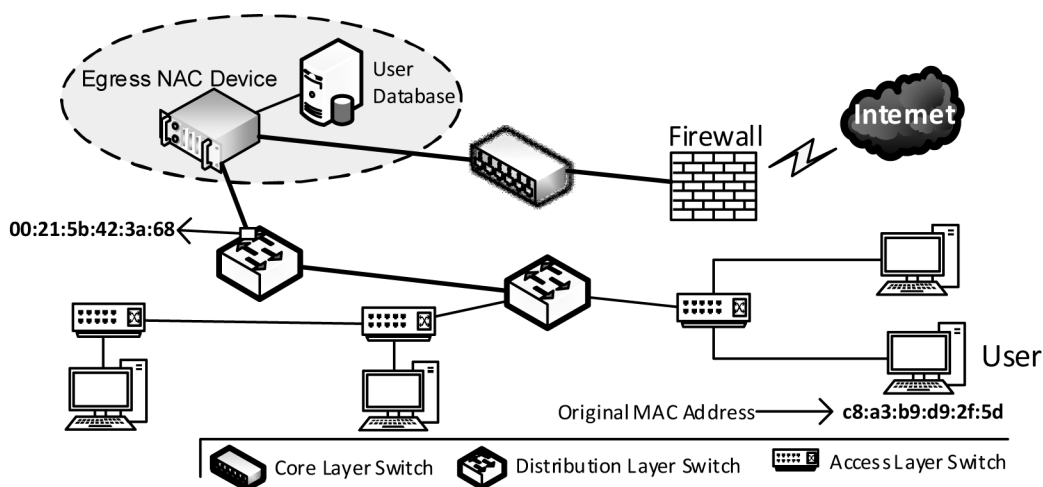


Figure 1 Egress NAC Connection Scenario

ระบบ Egress NAC ในปัจจุบัน

ระบบ Egress NAC ที่เป็น Open Source ส่วนใหญ่ มีคุณสมบัติในการควบคุมเครือข่ายเพียงหนึ่งเครือข่าย เช่น Coovachilli¹ Chilispot² และ pfSense³ จึงสามารถที่จะเก็บ ข้อมูล MAC Address ได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากไม่ได้มีการ เชื่อมต่อผ่านหลาย Hop ในเครือข่าย ดังนั้น เครื่องของผู้ใช้จึง สามารถสื่อสารไปที่ Egress NAC Server โดยตรง แต่หาก ต้องการตรวจสอบเครือข่ายย่อยๆ หลายเครือข่าย จะต้องใช้

จำนวน Server เท่ากับจำนวนเครือข่าย ซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง และยากต่อการควบคุม

ระบบที่เป็น Commercial ส่วนใหญ่จะมาในรูปแบบ ของ Appliance Box เช่น Consentry⁴ Sangfor IAM⁵ (ที่กำลัง ใช้งานในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม) หรือ BlueSocket⁶ โดย ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับผู้ใช้จำนวนมากที่สื่อสารมาจากเครือ ข่ายย่อยหลายเครือข่ายได้ ตัวอุปกรณ์มักถูกติดตั้งที่ Core Layer ของระบบเครือข่าย (เช่น NAC Device ใน Figure 1)

แต่เนื่องด้วยระบบเครือข่ายจะสื่อสารแบบ Hop by Hop นั่นคือ Packet จากต้นทางจะถูกส่งไปยังปลายทางผ่านหลายอุปกรณ์เครือข่าย ค่า MAC Address ใน Packet จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งเมื่อ Packet ส่งไปถึง Egress NAC Device ค่า MAC Address ก็จะเปลี่ยนเป็นของอุปกรณ์เครือข่ายล่าสุดที่เชื่อมต่อกับตัว NAC Device ซึ่งไม่ใช่ค่าเดิมที่มาจากผู้ใช้งานจริง หากนำค่านี้ไปเก็บใน Log ก็จะทำให้ข้อมูลที่เก็บผิดพลาด

จากการทดลองของ สมนึก พ่วงพรพิทักษ์¹⁰ ได้แสดงให้เห็นว่า commercial NAC products ที่ใช้อยู่หลายยี่ห้อ เช่น Consentry ทำการเก็บ log ในส่วน MAC address ของผู้ใช้งานผิดพลาด หรือถูกตั้งค่าไม่ให้เก็บ MAC address ของผู้ใช้งาน NAC เลย ซึ่งไม่ตรงตามประกาศกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เรื่องหลักเกณฑ์การเก็บรักษาข้อมูลจราจรทางคอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการ พ.ศ. 2550 ได้กำหนดไว้

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ไม่สามารถที่จะนำข้อมูล Log ไปใช้ในการมัดตัวผู้กระทำความผิดได้ หรือข้อมูลมีความผิดพลาดในการชี้ตัวผู้กระทำความผิด และแม้ว่าได้มีการเสนอวิธีการป้องกัน MAC Address Spoofing โดยให้ชื่อว่า ISAN-SNAC⁹ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันปัญหา MAC Address Spoofing แต่ระบบดังกล่าวออกแบบมาเพื่อใช้งานในเครือข่ายเดี่ยวหากนำไปใช้ควบคุมหลายเครือข่ายข้อมูล Log ของผู้ใช้งานก็จะมีการบันทึกข้อมูลผิดพลาดตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ออกแบบวิธีการรายงานข้อมูลล็อกที่ถูกต้อง

เนื่องจากปัญหาในการเก็บ Log ไม่ถูกต้องในเครือข่ายขนาดใหญ่ คือ Egress NAC Device ไม่ได้เชื่อมต่อโดยตรงกับเครือข่ายของเครื่องของผู้ใช้ จึงไม่สามารถใช้ ARP ในการสอบถาม MAC Address ของเครื่องผู้ใช้โดยตรงได้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อยอดจาก ISAN-SNAC⁹ ที่มีคุณสมบัติในการป้องกัน MAC Address Spoofing แต่ยังคงมีปัญหาในการเก็บข้อมูล Log ของ MAC Address ที่ผิดพลาด โดยระบบ NAC ดังกล่าว ได้มีการ ติดตั้ง JAVA Applet ในเครื่องผู้ใช้ เพื่อที่จะทำการดึงเอาข้อมูล Packet ของผู้ใช้ไปสร้างเป็น Authentication Visa เพื่อเปิดทางให้เฉพาะ Packet ที่ผ่านการยืนยันตัวตนสามารถสื่อสารได้

จากแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีของ JAVA Applet ใน ISAN-SNAC ทำให้มีการพัฒนาระบบ JAVA Applet ขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ โดยตัว Applet มีหน้าที่ในการดึงเอาค่า MAC Address ของเครื่องผู้ใช้ เพื่อส่งกลับไปยัง ตัว NAC Server เพื่อทำการเก็บ Log โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

การทำงานโดยรวมของระบบ

ระบบ Egress NAC แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ระดับชั้น (Upper Layer และ Lower Layer ดัง Figure 2) โดยในส่วนของ Upper Layer เริ่มจากผู้ใช้ทำการป้อน Username และ Password ผ่านหน้า Login.php จากนั้นทำการดึงเอาข้อมูล MAC Address ของผู้ใช้ผ่าน Applet แล้วทำการส่งข้อมูลของผู้ใช้ไปตรวจสอบที่ RADIUS ที่ทำการเชื่อมต่อกับ LDAP ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลผู้ใช้งานว่ากระบวนการตรวจสอบผู้ใช้สำเร็จ RADIUS ก็จะทำการเก็บ Log ของผู้ใช้ และที่ Login.php ก็ จะทำการส่งผ่าน ข้อมูลผู้ใช้ (ประกอบไปด้วย Username, IP Address, MAC Address) ไปที่ Core Service โดยส่งผ่านที่ XML-RPC

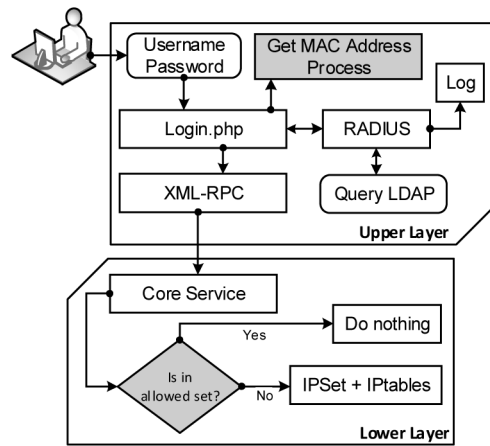


Figure 2 Egress NAC Operation

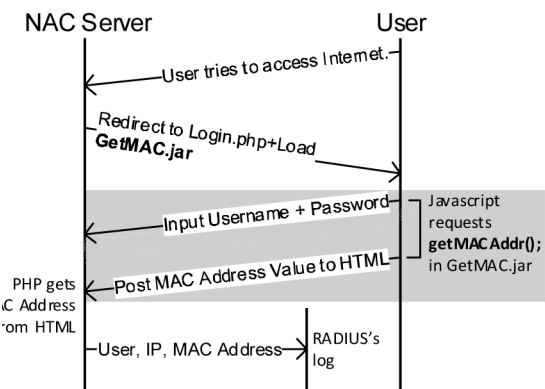


Figure 3 Process to get a client's MAC Address

ในส่วนของ Lower Layer เมื่อมีการติดต่อจาก XML-RPC นั้นแสดงว่ามีการส่งข้อมูลผู้ใช้ (ประกอบไปด้วย Username, IP Address, MAC Address) ที่ผ่านการยืนยันตัวตนเพื่อที่จะขอให้ Core Service อนุญาตให้ผู้ใช้ดังกล่าวสามารถสื่อสารได้ โดยข้อมูล IP Address ที่ได้รับ จะถูกนำไปตรวจสอบว่าอยู่ใน Set ที่ได้รับการอนุญาตแล้วหรือไม่ หากไม่

ก็จะทำการเพิ่ม IP Address เข้าไปใน Set แต่ถ้ามีข้อมูลอยู่แล้วใน Set นั้นแสดงว่าผู้ใช้สามารถสื่อสารได้อยู่ก่อนแล้วก็จะไม่ทำการเพิ่มข้อมูลเข้าไปใน Set

ขั้นตอนการดึงค่า MAC Address จากเครื่องผู้ใช้

ในส่วนของกระบวนการดึงค่า MAC Address จริงจากเครื่องผู้ใช้มีขั้นตอนดัง Figure 3 เริ่มจากการที่ผู้ใช้ทำการร้องขอไปยังปลายทางใน Internet ซึ่งจะมี Packet ของผู้ใช้วิ่งผ่านไปยังตัว NAC Server หากยังไม่ได้ผ่านการยืนยันตัวตนที่ NAC Server ก็จะมีการ Redirect Packet ของผู้ใช้ไปที่ Login.php โดยในขั้นตอนนี้จะมีการติดตั้ง GetMAC.jar (ถูกพัฒนาขึ้นในการดึงค่า MAC Address) โดยทำการ Pre-Load ไว้ที่เครื่องของผู้ใช้ โดยผู้ใช้จะต้องทำการยอมรับ Applet ที่จะถูกติดตั้งเมื่อติดตั้ง GetMAC.jar สำเร็จ ผู้ใช้ป้อน Username และ Password เมื่อผู้ใช้คลิกเพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังยืนยันตัวตนที่ Server ก็จะมีการเรียกใช้ Javascript เพื่อที่จะเรียก function getMACAddr(); ที่เขียนไว้ใน GetMAC.jar ซึ่ง function ดังกล่าวทำการดึงค่า MAC Address และส่งค่ากลับไป Javascript หลังจากนั้นค่าจะถูก Post ไปที่ HTML Form และ PHP ทำการดึงค่าจาก HTML Form เพื่อที่จะนำค่า MAC Address ที่ถูกต้องไปเก็บไว้ใน RADIUS's log รวมกับข้อมูลของผู้ใช้ เช่น Username IP Address หรือ เวลาในการเข้าใช้งาน เพื่อให้ตรงตามข้อกำหนดของ พรบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ ปี พ.ศ. 2550

พัฒนาระบบ

ระบบที่ได้ทำการพัฒนาต่อยอดจาก ISAN-SNAC โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1) ส่วนของ Core Service เพื่อที่จะเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบ Packet ของผู้ใช้ ตัว Egress NAC ทำการพัฒนาโดยใช้ IPSet 4.2¹¹ เพื่อที่จะทำการสร้าง Set ที่ใช้ในการตรวจสอบ IP Address ของผู้ใช้ที่ผ่านการยืนยันตัวตนเรียบร้อยแล้ว โดยควบคุมการเพิ่มลบ IP Address ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C และใช้ IPtables 1.4.4¹² ในการกรอง Packet ของผู้ใช้

2) ส่วนติดต่อผู้ใช้ ทำการพัฒนาด้วย PHP ซึ่งจะใช้ในการควบคุม Session ผู้ใช้ (ประกอบไปด้วย login, logout, session terminating) อีกทั้งทำการติดตั้ง XML-RPC เพื่อใช้ในการติดต่อ Core Service และติดตั้ง PHP-RADIUS, PHP-LDAP เพื่อใช้ในการตรวจสอบผู้ใช้ และเก็บบันทึก Log การใช้งาน

3) ส่วนของการดึงค่า MAC Address จริง จากเครื่องผู้ใช้ พัฒนาโดยใช้ JAVA Applet ซึ่งจะถูกติดตั้งโดยส่งผ่าน Web browser ของผู้ใช้ ซึ่งผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลาในการติดตั้งตัว Applet เอง

ระบบทั้งหมดพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ CentOS Kernel 2.6 และทำการติดตั้ง Apache 2.0 Web Server เพื่อทำการเปิดการใช้งานในส่วนของ PHP นอกจากนี้สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ Bridge Mode นั่นคือ ผู้ดูแลระบบไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าต่างๆ ในระบบเครือข่าย เพียงนำระบบที่พัฒนาไปติดตั้งในส่วนของ Core Layer ก็สามารถใช้งานได้ ซึ่งลดความยุ่งยากในการตั้งค่า

การเชื่อมต่อเครือข่าย

เครือข่ายที่ใช้ในการทดลองได้มีการเชื่อมต่อดัง Figure 1 ซึ่งเป็นลักษณะของการเชื่อมต่อในเครือข่ายขนาดใหญ่ และเพื่อป้องกันปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของผลการทดลองเครือข่ายที่เชื่อมต่อจึงเป็นระบบปิด (test-bed) ที่ไม่มี Cross Traffic ใดๆ

Egress NAC Server ทำการติดตั้งระหว่าง Core Layer Switch และ Distribution Layer Switch ดัง Figure 1 ในส่วนของคุณสมบัติของ Server คือ Intel Xenon 2 processors with 4-GB RAM, 1-TB local hard disk, และ two 10 Base-T/100Base-TX/1000Base-TX interfaces และติดตั้งระบบปฏิบัติการ CentOS ซึ่งสนับสนุนการทำงานของ IPSet และ IPtables

เครื่องผู้ใช้ ทดลองด้วยเครื่อง PC ที่มีคุณสมบัติคือ Intel Core i5 3.30-GHz with 4-GB RAM, 320-GB local hard disk, และ Intel PRO/1000 network interface card โดยติดตั้ง JAVA Runtime Environment (JRE) version 7 update 67 เพื่อใช้ในการ Run JAVA Applet ที่ใช้ดึงค่า MAC Address

Core Layer Switch และ Distribution Layer Switch ที่ใช้คือ Cisco 2960 ที่ทำการ update firmware ใหม่¹³ เพื่อสนับสนุนการทำงานของ IP Routing ในส่วนของ Access Layer Switch ใช้ 3com Gigabit Switch เพื่อที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องผู้ใช้

การวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผล

การวัดประสิทธิผล (Effectiveness)

เนื่องจากระบบที่พัฒนามีกระบวนการดึงค่า MAC Address ที่ถูกต้องผ่านตัว JAVA Applet ที่ได้พัฒนาขึ้น ดังนั้นระบบจึงมีประสิทธิผลในการเก็บข้อมูล Log ที่ถูกต้อง โดยหมายเลข MAC Address ที่ได้เป็นหมายเลขที่ได้มาจากเครื่องผู้ใช้งานตัวจริง ดัง Figure 4 (C8-A3-B9-D9-2F-5D) ไม่ได้เป็นหมายเลขที่มาจากอุปกรณ์เครือข่ายตัวล่าสุดที่เชื่อมต่อกับตัว Egress NAC Server

จากข้อมูล Log ที่ได้ พบว่า ข้อมูลมีความถูกต้องและสามารถนำไปเป็นหลักฐานในการชี้ตัวผู้กระทำความผิดได้

```

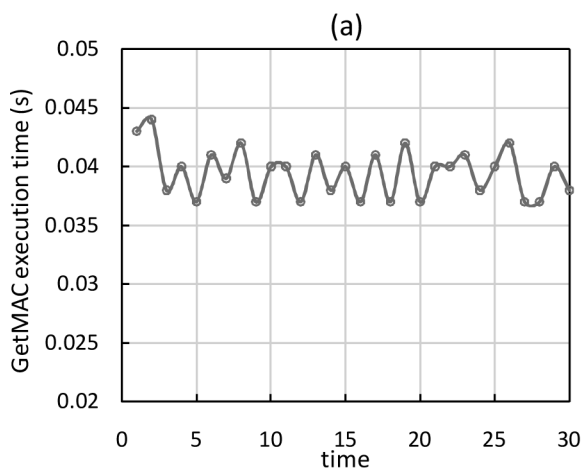
Fri Sep 5 19:32:36 2014
Acct-Session-Id = "d3d048041e3b347e"
Acct-Status-Type = Start
Acct-Authentic = Local
NAS-Port-Type = Ethernet
User-Name = "test"
Framed-IP-Address = 192.168.0.2
Calling-Station-Id = "C8-A3-B9-D9-2F-5D"
NAS-Identifier = "SNAC-01"
NAS-IP-Address = 192.168.4.1
NAS-Port = 1
Acct-Unique-Session-Id = "06096d0c50c52d91"
Timestamp = 1406896356
    
```

Figure 4 Authentication log from RADIUS

การวัดประสิทธิภาพ (Efficiency)

การวัดประสิทธิภาพของระบบ Egress NAC ที่พัฒนามุ่งเน้นที่จะทดสอบความเร็วในการดึงค่า MAC Address จากเครื่องของผู้ใช้ และความเร็วทั้งหมดเริ่มจากผู้ที่ยืนยันตัวตนจนสิ้นสุดกระบวนการ เทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้ง JAVA Applet เพื่อใช้ดึงค่า MAC Address โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนเฉพาะความเร็วในการดึงค่า MAC Address ของ JAVA Applet และ ส่วนของความเร็วรวมในการยืนยันตัวตนของผู้ใช้งาน

ส่วนแรก ทำการวัดค่าความเร็วในการทำงานของ function getMACAddr(); โดยเริ่มตั้งแต่เรียกใช้งาน Applet ผ่าน Web Browser จนกระทั่งส่งค่า MAC Address กลับไป



ที่ Javascript ซึ่งทำการทดลองโดยการ Login เข้าสู่ระบบจากเครื่องผู้ใช้ 1 เครื่อง จำนวน 30 ครั้ง โดยต้องการทราบถึงความเร็วในการดึงค่า MAC Address ว่าส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้หรือไม่

ส่วนที่สอง เริ่มจากผู้ใช้งานทำการส่ง Username และ Password มาที่ Egress NAC Server จนกระทั่งยืนยันตัวตนสำเร็จ (ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยๆ คือการบันทึก Log และการนำ IP Address ของผู้ใช้ไปเก็บไว้ใน Set ของผู้ใช้ที่ผ่านการยืนยันตัวตนแล้ว) โดยทดลองจากเครื่อง 1 เครื่อง ให้ผู้ใช้ Login จำนวน 30 ครั้ง เพื่อให้ทราบว่าการที่มีกระบวนการของ Applet เพิ่มขึ้นมาจะสร้างความล่าช้าในการทำงานหรือไม่

ผลการทดลอง

ในการวัดประสิทธิภาพส่วนแรก นั่นคือ การวัดความเร็วในการดึงค่า MAC Address ผลที่ได้ ปรากฏดัง Figure 5 (a) จากรูปจะเห็นว่า ในการทดสอบแต่ละครั้ง ค่าที่ได้จะไม่เกิน 0.044 วินาที (ค่าเฉลี่ย = 0.039±0.001 วินาที ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%) ซึ่งเป็นค่าเวลาที่น้อยมาก นั่นแสดงว่า การดึงค่า MAC Address ของเครื่องผู้ใช้สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้

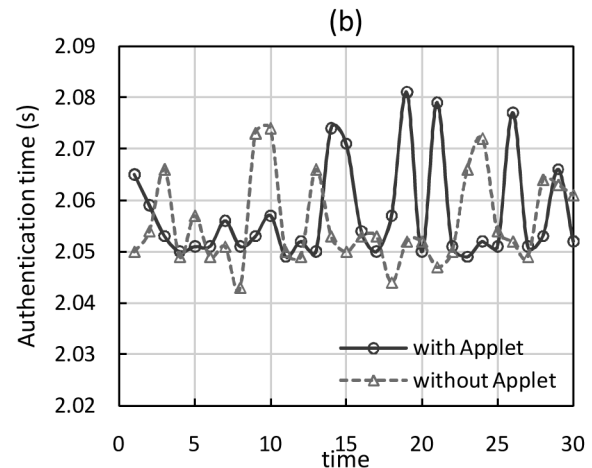


Figure 5 Efficiency Evaluation: (a) execution time for the applet to get MAC address (in second), (b) authentication time of user (in second)

สำหรับการวัดประสิทธิภาพในส่วนที่สอง นั่นคือการวัดเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้ทำการยืนยันตัวตนเข้าสู่ระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีกระบวนการทำงานของ Applet เพื่อดึงค่า MAC Address และระบบที่ไม่มีกระบวนการดังกล่าว โดยผลการทดลองปรากฏดัง Figure 5 (b) จากผลที่ได้

แสดงให้เห็นว่า ค่าเวลารวมในการยืนยันตัวตนมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยระบบที่มีกระบวนการทำงานของ Applet มีค่าเฉลี่ยเวลายืนยันตัวตนอยู่ที่ 2.057±0.003 วินาที ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ส่วนระบบที่ไม่มีกระบวนการดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.055±0.003 วินาที ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% นั่นคือ

ระบบที่เพิ่มการทำงานของ Applet ไม่ได้ส่งผลต่อการลดประสิทธิภาพการทำงานของระบบยืนยันตัวตน จากกระบวนการออกแบบที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ตัว Applet ได้ถูก Pre-Load เพื่อติดตั้งก่อนหน้าที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูลยืนยันตัวตน ดังนั้น การเรียกใช้งานเพื่อที่จะดึงค่า MAC Address จึงไม่ได้มีความล่าช้า ซึ่งจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ดังแสดงใน Figure 5 (a))

สรุปผล

ระบบ Egress NAC จำเป็นอย่างยิ่งในการยืนยันตัวตน และเก็บบันทึก Log การใช้งานผู้ใช้ หลายหน่วยงานลงทุนซื้อผลิตภัณฑ์ NAC เพื่อควบคุมผู้ใช้ในเครือข่ายที่ต้องเชื่อมต่อผ่านหลาย Hop โดยคาดหวังว่าระบบจะสามารถตรวจสอบและเก็บบันทึก Log ผู้ใช้ได้ถูกต้อง แต่ปัญหาในงานวิจัยนี้ค้นพบคือ ค่า MAC Address ที่บันทึกลงใน Log เป็นค่าของอุปกรณ์เครือข่ายที่เชื่อมต่อโดยตรงกับ Egress NAC ไม่ได้เป็นค่าจากเครื่องของผู้ใช้ตัวจริง ส่งผลให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นหลักฐานในการชี้ตัวผู้กระทำความผิดตามข้อกำหนด พรบ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ ปี พ.ศ. 2550 ได้ ทำให้ระบบ Log ที่ลงทุนจำนวนมหาศาลล้มเหลวต่อการใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการเก็บข้อมูล Log ผิดพลาด โดยพัฒนาส่วนของ JAVA Applet เพื่อใช้ในการดึงค่า MAC Address ที่ถูกต้องจากเครื่องของผู้ใช้ ซึ่งผลที่ได้คือระบบสามารถเก็บ Log ได้อย่างถูกต้อง โดยที่ไม่ได้ลดทอนประสิทธิภาพในการใช้งานระบบควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายแต่อย่างใด

เอกสารอ้างอิง

- Coovachilli. Open Source Captive Portal Access Controller and RADIUS Software. Available from <http://coova.org/>. Accessed September 1, 2014.
- ChilliSpot. ChilliSpot - Open Source Wireless LAN Access Point Controller. Spice up your HotSpot with Chilli. Available from <http://www.chillispot.info/>. Accessed May 9, 2014.
- Coreteam p. pfSense Open Source Firewall Distribution. Available from <http://www.pfsense.org/>. Accessed October 1, 2014.
- Consentry. ConSentry Networks - Network Access Control. Available from <http://consentry.com/>. Accessed September 2, 2014.
- SangforIAM. Leading vendor of Web Security, WAN Optimization and Internet Access Management in Asia Pacific Region. Available from <http://www.sangfor.com/product/Internet%20Access%20Management/outline.html>. Accessed September 2, 2014.
- Bluesocket. Enterprise Wireless LAN Security and Management Solutions - Bluesocket. Available from <http://www.adtran.com/>. Accessed May 9, 2014.
- Puangpronpitag S, Suwannasa A. A Lightweight Agent-based Egress NAC on Wireless LAN. International Conference on Computer & Information Science (ICCIS); Kuala Lumpur, Malaysia. IEEE 2012;
- Puangpronpitag S, Suwannasa A. A design of egress NAC using an authentication visa checking mechanism to protect against MAC address spoofing attacks. 8th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON); 2011; 300-303.
- Plummer DC. An Ethernet Address Resolution Protocol or Converting Network Protocol Addresses. IETF RFC 826 1982;
- สมนึก พ่วงพรพิทักษ์. ระบบควบคุมผู้ใช้งานการเข้าถึงระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. รายงานวิจัยโครงการวิจัยร่วมระหว่าง Information Security & Advanced Network Lab กับ บริษัท นอร์เทิสเทิร์นไอที; กรกฎาคม 2554
- Kadlecsik J. The netfilter.org ipset project. Available from <http://www.netfilter.org/projects/ipset/index.html>. Accessed June 6, 2014.
- Netfilter. The netfilter.org iptables project. Available from <http://www.netfilter.org/projects/iptables/index.html>. Accessed June 6, 2014.
- Cisco. Cisco Catalyst 2960G-8TC-L Compact Switch IOS Software-12.2.55-SE9. Available from <http://software.cisco.com/download/release.html?mdfid=280836706&softwareid=280805680&release=12.2.55-SE9>. Accessed June 6, 2014.

ความสัมพันธ์ระหว่าง เหล็ก ยีน HFE และโรคทางระบบประสาท

The Association between Iron HFE Gene and Neurodegenerative Diseases

นุชนาถ ไหมหรือ¹Nootchanat Mairuae¹

Received: 14 July 2014 ; Accepted: 11 November 2014

บทคัดย่อ

การสะสมของเหล็กในสมองและการเพิ่มขึ้นของความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) พบได้ในหลายโรคทางระบบประสาท ตัวอย่างเช่น โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) โรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (Amyo-trophic lateral sclerosis, ALS) และโรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) ปัจจุบันมีรายงานว่า การกลายพันธุ์ของยีนเอ็ชเอฟอี (HFE gene) ซึ่งเป็นยีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของเหล็กภายในเซลล์ทำให้เกิดการสะสมของเหล็กในอวัยวะหลายแห่งรวมถึงที่บริเวณสมอง สองสายพันธุ์ของยีน HFE ที่มีอัตราการกลายพันธุ์มากที่สุด คือ C282Y และ H63D สายพันธุ์ H63D ได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากพบว่ามีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคทางระบบประสาท มีรายงานว่า การกลายพันธุ์ของโปรตีน HFE ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของยีน HFE สายพันธุ์ H63D เป็นผลทำให้เกิดภาวะ oxidative stress โปรตีน tau ถูกเติมหมู่ฟอสเฟตมากขึ้น (hyperphosphorylation of tau protein) มีการปล่อยสารสื่อประสาทกลูตาเมตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งภาวะดังกล่าวเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการตายของเซลล์ประสาท ในบทความนี้จะเน้นกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างการกลายพันธุ์ของยีน HFE ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคทางระบบประสาท โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคอัลไซเมอร์ โรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (ALS) และโรคพาร์กินสัน นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงบทบาทของเคอควิทิน (quercetin) ต่อการป้องกันโรคดังกล่าวด้วย

คำสำคัญ: เหล็ก ยีนเอ็ชเอฟอี โรคทางระบบประสาท

Abstract

Iron accumulation in the brain and increased oxidative stress have been consistently observed in several neurodegenerative diseases including Alzheimer's disease (AD), Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and Parkinson's disease (PD). Recent studies have reported that mutations in the HFE gene, the gene involved in cellular iron regulation, are associated with iron accumulation in multiple organs including the brain. The two most common HFE gene variants are C282Y and H63D. The latter mutation has received more attention because it is more frequently associated with these neurodegenerative diseases. It has been reported that the altered HFE protein encoded by the H63D HFE gene variant increases oxidative stress, tau phosphorylation, and glutamate release. These cellular events are under investigation as contributing factors in neurodegenerative diseases. This review focuses on the association between the HFE gene variants and neurodegenerative diseases, especially ALS, AD, and PD. The role of quercetin in protecting against these diseases is also reviewed.

Keywords: iron, HFE gene, neurodegenerative diseases

¹ อาจารย์, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Mahasarakham 44000, Thailand

Corresponding author; noot1357@yahoo.com

บทนำ

เหล็ก (iron) มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับขบวนการต่างๆ ในร่างกายมากมาย เช่น เป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบินเพื่อขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ หน้าที่อื่นที่สำคัญของเหล็กได้แก่หน้าที่ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์¹ และเป็น cofactor ในเอนไซม์หลายชนิดในระบบประสาทเหล็กเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์สารสื่อประสาทและการสร้างปลอกประสาทไมอีลิน (myelinogenesis)¹ การขาดเหล็กมีผลต่อองค์ประกอบและปริมาณของไมอีลิน นอกจากนี้การขาดเหล็กยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมตาโบลิซึมของสารสื่อประสาท dopamine สารสื่อประสาท norepinephrine ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาของระบบประสาทส่วนกลาง² แม้ว่าเหล็กจะเป็นปัจจัยที่จำเป็นสำหรับโปรตีนจำนวนมาก เหล็กอิสระ (free iron) เช่น ferrous iron (Fe²⁺) สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเจนเรียกว่า Fenton reaction ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (oxygen free radical) สำหรับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวจัดเป็นอนุมูลที่มีความไวสูงไม่คงตัวเนื่องจากมีอิเล็กตรอนเดี่ยวไว้คู่ ดังนั้นจึงพยายามหา อิเล็กตรอนมาจับคู่ทำให้มีความคงตัวขึ้น เป้าหมายแรกที่อนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหายและเป็นสาเหตุของการเกิดโรคคือชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายที่มีความไวต่อการถูกออกซิไดซ์ได้แก่ ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเมมเบรน โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ รีเซพเตอร์ และสารสื่อประสาทและ ดีเอ็นเอ โมเลกุลเหล่านี้เมื่อถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลอิสระทำให้คุณสมบัติและการทำงานของชีวโมเลกุลเปลี่ยนไป เกิดความบกพร่องหรือถูกทำลายอันเป็นสาเหตุของการตายของเซลล์และการเกิดโรคตามมา^{2, 3} ดังนั้นปริมาณเหล็กในร่างกายและในระบบประสาทจึงถูกควบคุมอย่างเคร่งครัดผ่านการแสดงออกของโปรตีนหลายตัวเพื่อรักษาปริมาณเหล็กให้มีความเหมาะสม^{4, 5} ปัจจุบันโปรตีนที่ได้รับความสนใจในระบบประสาทคือโปรตีน HFE เนื่องจากพบว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคทางระบบประสาท ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวถึงหน้าที่ของโปรตีน HFE การกลายพันธุ์ของยีน HFE กับโรคอัลไซเมอร์ โรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (ALS) และโรคพาร์กินสัน

เหล็กในสมอง

ปริมาณเหล็กในสมองมีมากเป็นลำดับที่สองรองจากตับ⁶ โดยเหล็กมีการกระจายไปทั่วสมอง บริเวณที่มีปริมาณเหล็กมากที่สุดคือ globus pallidus รองลงมาคือ red nucleus,

substantia nigra, putamen และ dentate nucleus ส่วนบริเวณ cortex ที่พบปริมาณเหล็กมากที่สุดคือ motor cortex รองลงมาคือบริเวณ occipital cortex, sensory cortex และ parietal cortex เนื่องจากสมองเป็นบริเวณที่ต้องการออกซิเจนสูงเพื่อใช้ในการเผาผลาญพลังงาน ผลที่ตามมาคือมีการสร้างสารอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้สมองยังอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเป็นบริเวณที่มีเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระต่ำ ดังนั้นสมองจึงมีความเสี่ยงมากขึ้นต่อภาวะ oxidative stress อันเนื่องมาจากปริมาณเหล็กที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุ

ทั้งภาวะเหล็กเกินและภาวะขาดเหล็กส่งผลให้เกิดความผิดปกติของการทำงานของเซลล์ประสาทและสมอง ดังนั้นที่บริเวณสมองจึงมีการแสดงออกของโปรตีนหลายตัวซึ่งมีส่วนร่วมในการควบคุมการนำเหล็กเข้าหรือขับเหล็กออก ตลอดจนการจัดเก็บเหล็กเพื่อควบคุมปริมาณเหล็กให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โปรตีนดังกล่าวได้แก่ HFE⁷, ferritin, transferrin (Tf), transferrin receptor (TfR)⁸, divalent metal transporter 1 และ ceruloplasmin^{2, 5, 7, 9, 10}

การแสดงออกของโปรตีนเหล่านี้จะมีเปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับปริมาณเหล็ก ตัวอย่างเช่นผลจากการขาดเหล็กจะทำให้การแสดงออกของโปรตีน ferritin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการเก็บเหล็กลดลงและเพิ่มการแสดงออกของโปรตีนที่ทำหน้าที่นำเหล็กเข้าเซลล์เช่น TfR¹¹ ผลสุดท้ายจะมีการลดการจัดเก็บเหล็ก และในขณะเดียวกันเพิ่มการดูดซึมเหล็กเข้าสู่เซลล์ เมื่อเหล็กมีปริมาณมากการแสดงออกของโปรตีน ferritin จะเพิ่มขึ้นในขณะที่การแสดงออกของโปรตีน TfR จะลดลง ผลที่เกิดขึ้นคือมีการจำกัดการดูดซึมเหล็กและการเพิ่มการจัดเก็บเหล็ก^{4, 12} โดยปกติสมองจะได้รับการปกป้องโดยมี blood brain barrier กันเพื่อควบคุมการผ่านเข้าออกของสารจึงเชื่อว่าปริมาณเหล็กในสมองจะถูกจำกัดโดย blood brain barrier อย่างไรก็ตามจากการศึกษามีรายงานว่าพบการสะสมของเหล็กในสมองส่วน basal ganglia, substantia nigra, red nucleus และ dentate gyrus ในผู้ป่วยภาวะเหล็กเกินหรือ hemochromatosis โดยโรคนี้เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีน HFE ซึ่งส่งผลต่อการทำหน้าที่ของโปรตีนดังกล่าวทำให้ปริมาณเหล็กเข้าสู่เซลล์มากขึ้นและไปสะสมในอวัยวะต่างๆ รวมถึงที่บริเวณสมองดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณเหล็กในสมองที่เพิ่มมากขึ้นและอาจเป็นปัจจัยความเสี่ยงต่อการตายของเซลล์ประสาททำให้เกิดโรคทางระบบประสาทตามมา^{5, 7, 13}

ยีน HFE

ยีน Hereditary Hemochromatosis (HFE) อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 ทำหน้าที่ควบคุมสถานะสมดุลของเหล็กภายในเซลล์ โดยโปรตีน HFE จะจับอยู่กับ microglobulin $\beta 2$ ในร่างแห endoplasmic และมีการเคลื่อนย้ายไปยังเซลล์เมมเบรนเพื่อจับกับ TFR การจับกันระหว่าง โปรตีน HFE และโปรตีน TFR จะรบกวนการจับกันของโปรตีน TFR และ Fe-Tf ทำให้ลดการนำเหล็กเข้าสู่เซลล์ ดังนั้นการกลายพันธุ์ของ HFE จะมีผลทำให้เหล็กเข้าสู่เซลล์มากขึ้น เกิดภาวะเหล็กเกิน (iron overload หรือ hemochromatosis) โดยเหล็กจะเข้าไปสะสมอยู่ภายในอวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายมากกว่าปกติ ตัวอย่างเช่นที่ตับ ไต หัวใจ และระบบต่อมไร้ท่อ เหล็กที่สะสมในร่างกายจะเกิดผลเสียต่อการทำงานของอวัยวะนำไปสู่โรคแทรกซ้อนอื่นๆตามมามากมายได้แก่ หัวใจวาย หัวใจเต้นผิดจังหวะ ตับเป็นผังผืดและตับวาย โรคเบาหวาน ภาวะพร่องฮอร์โมนและฮอร์โมนเพศ^{14, 15} และเป็นเหตุที่ทำให้อายุสั้นลงหรือเสียชีวิต สายพันธุ์ที่มีการกลายพันธุ์มากที่สุดของยีน HFE คือ C282Y กล่าวคือกรดอะมิโน cysteine ที่ตำแหน่ง 282 ถูกแทนที่โดย tyrosine พบได้ประมาณร้อยละ 90 ของผู้ป่วย hemochromatosis อีกสายพันธุ์คือ H63D กล่าวคือกรดอะมิโน histidine ที่ตำแหน่ง 63 ถูกแทนที่โดย aspartic พบได้ประมาณร้อยละ 5 ของผู้ป่วย hemochromatosis ถึงแม้สายพันธุ์ C282Y จะพบได้มากในผู้ป่วย hemochromatosis แต่สายพันธุ์ H63D พบได้มากในประชากรทั่วไป (8.1%) เมื่อเทียบกับสายพันธุ์ C282Y (1.9%) โดยสายพันธุ์ C282Y พบได้มากในประชากรแถบยุโรปเหนือ ในขณะที่สายพันธุ์ H63D พบได้ทั่วไปในทวีปยุโรป เอเชีย แอฟริกา ตะวันออกกลาง และอเมริกา^{16, 17}

HFE และโรคทางระบบประสาท

HFE เป็นโปรตีนที่พบได้ที่ epithelial cell ของ choroid plexus, endothelial cells ของหลอดเลือด และ ependymal cells ในโพรงสมอง (ventricle) โดยพบร่วมกับ TFR ซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณเหล็กผ่าน blood brain barrier และ blood CSF barrier เข้าสู่สมอง^{18, 19} อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างการกลายพันธุ์ของ HFE และโรคทางระบบประสาทส่วนกลางยังไม่ได้รับความสนใจมากนักเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการค้นพบว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE มีความเกี่ยวข้องกับการสะสมเหล็กส่วนเกินในสมอง²⁰⁻²² ซึ่งก็มีความเป็นไปได้ว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE มีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กในสมองซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะเหล็กเกินในสมองทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางระบบประสาทส่วนกลาง

HFE และโรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (ALS)

ALS เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของเซลล์ประสาทนำคำสั่ง (motor neuron) ซึ่งเซลล์ประสาทเหล่านี้มีอยู่ในระบบประสาทส่วนกลางได้แก่ไขสันหลังและสมอง โดยเซลล์ประสาทจะค่อยๆเกิดการเสื่อมและตายไปในที่สุด จึงทำให้กล้ามเนื้อตามแขนและขาอ่อนแรงลง กลืนลำบาก พูดไม่ชัด ในทางการแพทย์มีอีกชื่อว่า “โรคของเซลล์ประสาทนำคำสั่ง” (motor neuron disease; MND) หรือ “โรคเซลล์ประสาทนำคำสั่งเสื่อม” ในสหรัฐอเมริกาจะรู้จักกันดีในชื่อว่า “Lou Gehrig's Disease” สาเหตุของโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง ALS ยังไม่ทราบแน่ชัด โดยสมมติฐานเชื่อว่าเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ปัจจัยทางพันธุกรรมและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ร่วมกับอายุที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ประสาท ปัจจุบันพบว่าร้อยละ 30 ของผู้ป่วย ALS มาจากการกลายพันธุ์ของยีน HFE สายพันธุ์ H63D²³ ซึ่งสูงกว่าการกลายพันธุ์ของยีน superoxide dismutase (SOD1)²⁴ เมื่อเร็วๆ นี้ในสหราชอาณาจักร²⁵, อิตาลี เนเธอร์แลนด์²⁷ และจีน²⁶ ได้มีรายงานอุบัติการณ์ที่เพิ่มขึ้นของการกลายพันธุ์ H63D HFE ในผู้ป่วย ALS นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การกลายพันธุ์ของ H63D HFE มีความเสี่ยงเป็น 4 เท่าต่อการเกิดโรค ALS¹³ และมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณเหล็กในสมองที่เพิ่มขึ้น²⁸⁻³¹ การศึกษาโดย Jeong และคณะพบว่าการใช้ยาขับเหล็กในหนูที่เป็นโรค ALS มีผลต่ออัตราการรอดในหนู³² แสดงให้เห็นว่าเหล็กมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการดำเนินไปของโรค ALS, Goodall และคณะพบว่าผู้ป่วย โรค ALS มีระดับ ferritin ในซีรัมสูง³³ และเพิ่มมากยิ่งขึ้นในผู้ป่วย ALS ที่มีการกลายพันธุ์ของยีน H63D HFE³⁴ ปัจจุบันสมมติฐานเกี่ยวกับกลไกที่เอื้อต่อการเสื่อมสภาพของเซลล์ประสาทมอเตอร์ในโรค ALS ได้แก่ภาวะความเป็นพิษของ กลูตาเมต, ความเครียดออกซิเดชัน, ภาวะไม่สมดุลของเหล็ก, และความผิดปกติของ ไมโทคอนเดรีย^{35, 36} จากการศึกษาโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์ประสาท neuroblastoma cells พบว่าเซลล์ประสาทที่ได้รับการใส่ยีน H63D HFE มีระดับความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เพิ่มมากขึ้น³⁷, มีการหลั่งกลูตาเมตเพิ่มมากขึ้น³⁸ และมีการเติมหมู่ฟอสเฟตที่โปรตีน tau เพิ่มขึ้น³⁹ เมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในกลุ่มควบคุม เป็นไปได้ว่ากลไกเหล่านี้อาจมีบทบาทต่อการเสื่อมของเซลล์ประสาทมอเตอร์ในโรค ALS และการกลายพันธุ์ของยีน HFE สายพันธุ์ H63D น่าเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดโรค ALS

HFE และโรคอัลไซเมอร์

โรคอัลไซเมอร์เป็นโรคที่พบได้บ่อยที่สุดถึงร้อยละ 60-80 ของภาวะสมองเสื่อมทั้งหมด โดยโรคนี้ถูกค้นพบโดยจิตแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ Alois Alzheimer^{40, 41} ในปี ค.ศ. 1906 สาเหตุของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ยังไม่ทราบแน่ชัดแต่เชื่อว่าเกิดจากหลายปัจจัยรวมกัน เช่นปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม โดยยีนหลักที่เป็นสาเหตุของโรคอัลไซเมอร์ได้แก่ beta-amyloid precursor protein (APP) gene บนโครโมโซมคู่ที่ 21, Presenilin-1 (PS1) gene บนโครโมโซมคู่ที่ 14, Presenilin-2 (PS2) gene บนโครโมโซมคู่ที่ 1 และ Apolipoprotein E4 (Apo E4) gene บนโครโมโซมคู่ที่ 19^{42, 43} อย่างไรก็ตามถ้าตรวจดูพยาธิสภาพในเนื้อสมองของผู้ป่วยจะพบความผิดปกติหลักๆคือมีการสะสมของเส้นใยที่ผิดปกติ (paired helical filaments หรือ PHFs) และโปรตีนที่ผิดปกติ (hyperphosphorylated tau protein หรือ P-tau) เกิดเป็นสารประกอบผิดปกติในเซลล์ที่เรียกว่า neurofibrillary tangles หรือ NFTs นอกจากนี้ยังพบมีการสะสมของ amyloid beta peptide หรือ A β ภายนอกเซลล์เกิดเป็น neuritic plaque หรือ senile plaque^{44, 45} ปัจจุบันสมมติฐานสำคัญที่เชื่อว่าเป็นสาเหตุการตายของเซลล์ประสาทคือ สมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับสารอะไมลอยด์ (amyloid-cascade hypothesis) และ สมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของโปรตีนเทา (hyperphosphorylation of protein tau (T) hypothesis) ทั้งนี้มีหลายการศึกษาเชื่อว่า amyloid cascade theory เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆของเซลล์ประสาทสมองตามมา เช่น การตอบสนองต่อการอักเสบเริ่มต้น (pro-inflammatory response) ความผิดปกติในการทำงานของไมโทคอนเดรีย (mitochondrial dysfunction) อันตรายจากสารอนุมูลอิสระ (oxidative stress) จนนำไปสู่ภาวะการตายของเซลล์ประสาท (apoptosis) ในที่สุด

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและพยาธิสภาพของโรคอัลไซเมอร์ พบว่ามีการสะสมของเหล็กที่บริเวณ senile plaque, NFT ร่วมกับภาวะ oxidative stress^{7, 12, 46-48} โดยพบว่าเหล็กเพิ่มการแสดงออกของ amyloid precursor protein (APP) ซึ่งเป็นโปรตีนตั้งต้นของการเกิด amyloid beta peptide⁴⁸⁻⁵⁰ นอกจากนี้ยังพบว่าเหล็กสามารถส่งเสริมความเป็นพิษของ amyloid beta peptide ต่อเซลล์ประสาท^{51, 52} จากการศึกษาโดย Mairuae และคณะ⁵² พบว่าในสภาวะที่เซลล์ไมโครเกลียถูกกระตุ้นโดยมีเหล็กสะสมอยู่ในเซลล์เพิ่มการแสดงออกของ matrix metalloproteinase-9 โดยเอนไซม์นี้มีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมขบวนการอักเสบ และการตายของเซลล์ประสาททำให้เชื่อว่าเหล็กที่สะสมอยู่ในเซลล์

ไมโครเกลียขณะที่เซลล์อยู่ในภาวะที่ถูกกระตุ้นอาจมีส่วนส่งเสริมการตายของเซลล์ประสาทและนำไปสู่การเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ ปัจจุบันมีการศึกษาพบว่าความผิดปกติของยีน HFE มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์ การศึกษาโดย Lee และคณะ³⁷ พบว่า neuroblastoma cells ที่มีความผิดปกติของ H63D HFE มีปริมาณเหล็กในเซลล์เพิ่มมากขึ้น และยังมีภาวะ oxidative stress เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับ neuroblastoma cells ที่ไม่มีความผิดปกติของ HFE การศึกษาล่าสุดโดย Hall และคณะ³⁹ แสดงให้เห็นว่าความผิดปกติของ H63D HFE เพิ่มขบวนการเกิด hyperphosphorylation ของ tau protein ใน neuroblastoma cells จากการศึกษาในผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ พบว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE อาจเป็นปัจจัยเสี่ยงทางพันธุกรรมต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์ โดย Sampietro และคณะ⁵³ ศึกษาความผิดปกติของยีน H63D HFE กับอายุผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ พบว่าคนที่มีความผิดปกติของ H63D HFE จะมีการแสดงของโรคอัลไซเมอร์เร็วกว่าคนที่ไม่มี ความผิดปกติของ H63D HFE โดยเฉลี่ย 5 ปี Pulliam และคณะ⁵⁴ พบว่าสัดส่วนคนที่เป็นโรคอัลไซเมอร์ร่วมกับการกลายพันธุ์ของยีน HFE มากกว่าคนที่ไม่มียีน HFE ปกติ และยังพบว่าบุคคลดังกล่าวมีระดับ lipid peroxidation เพิ่มมากขึ้น

HFE และโรคพาร์กินสัน

โรคพาร์กินสันเกิดจากการตายของเซลล์ประสาทในสมองส่วน substantia nigra (pars compacta)⁵⁵ ที่สร้างสารสื่อประสาท dopamine สารนี้จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมไปยังสมองส่วนควบคุมระบบการเคลื่อนไหวของร่างกายทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อประสานกันได้อย่างดี⁵⁶ เมื่อสมองขาด dopamine จึงเกิดอาการเคลื่อนไหวผิดปกติขึ้น⁵⁶ อาการแสดงของผู้ป่วยได้แก่มีอาการสั่นขณะพัก (resting tremor) การเคลื่อนไหวช้า (bradikinesia) และการแข็งเกร็ง (rigidity) มักมีอาการแข็งตึงของแขนขา และลำตัว ทำให้เคลื่อนไหวลำบาก อาการเริ่มต้นมักมีอาการข้างเดียว ต่อมาอาจเป็นทั้งสองข้าง มีอาการลุกจากเก้าอี้ลำบาก หรือไม่สามารถลุกยืนเดินได้อย่างมั่นคง เดินก้าวสั้น ๆ หรือ ลากขา อาจสังเกตพบลักษณะสีหน้าไร้อารมณ์ ไม่ค่อยกะพริบตา พูดลำบาก หรือ มีอาการกลืนลำบากร่วมด้วย โรคนี้ส่วนมากพบในผู้สูงอายุ (มากกว่า 60 ปีขึ้นไป) ชื่อโรคนามาจากชื่อของแพทย์ชาวอังกฤษ คือ นายแพทย์ James Parkinson ซึ่งเป็นผู้เขียนรายงานเกี่ยวกับโรคนี้เป็นคนแรก พยาธิสภาพของโรคเป็นลักษณะของการสะสมโปรตีนชื่อ แอลฟา-ไซนิวคลีอิน (alpha-synuclein) ในอินคลูชันบอดี (inclusion body) เรียก เลวีบอดี (Lewy body) ในเซลล์ประสาท⁵⁷

สาเหตุการตายของเซลล์ประสาทยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดอาจมาจากทั้งกรรมพันธุ์ร่วมกับปัจจัยทางสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบันคือทฤษฎี oxidative stress จากการตรวจชันสูตรศพของเนื้อเยื่อสมองจากผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน และการทำ Magnetic Resonance Imaging หรือ MRI พบการสะสมของเหล็กในสมองส่วน substantia nigra มีรายงานว่าเหล็กที่เพิ่มขึ้นส่งเสริมการสะสมของโปรตีน alpha-synuclein ซึ่งทำให้ระดับ Lewy body ในเซลล์ประสาทเพิ่มมากขึ้น Nielsen และคณะได้รายงานความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมเหล็กในสมองส่วน basal ganglia และการพัฒนาของกลุ่มอาการของโรคพาร์กินสัน ในผู้ป่วย hemochromatosis ซึ่งสอดคล้องกับกรณีศึกษาของ Costello และคณะ⁵⁸ ที่รายงานว่าพบผู้ป่วย hemochromatosis จำนวน 4 ราย มีการสะสมของเหล็กเพิ่มขึ้นในสมองส่วน basal ganglia ร่วมกับมีอาการแสดงของโรคพาร์กินสัน โดย Costello ชี้ให้เห็นว่าระดับของเหล็กที่เพิ่มขึ้นในบริเวณ basal ganglia อาจเกี่ยวข้องกับอาการของสาเหตุของโรคพาร์กินสัน Dekker และคณะ⁵⁹ ได้ศึกษาการกลายพันธุ์ของยีน HFE ในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน และในผู้ป่วยที่มีกลุ่มอาการของโรคดังกล่าว ในประชากร 2 กลุ่มที่มาจาก Rotterdam และตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของความถี่ที่มีการกลายพันธุ์ของ C282Y HFE ในผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าวเมื่อเทียบกับการควบคุมนอกจากนี้การศึกษาในประชากรโปรตุเกสยังพบความถี่ที่เพิ่มขึ้นของการกลายพันธุ์ของ C282Y HFE ในผู้ป่วยพาร์กินสัน⁶⁰ การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสะสมเหล็กในพยาธิวิทยาของโรคพาร์กินสัน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยความเสี่ยงทางพันธุกรรมสำหรับการเกิดโรคพาร์กินสัน

ควอซิติน (Quercetin)

Quercetin เป็นสารพฤกษเคมีที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีมากในหัวหอม หอมแดง และพืชตระกูลถั่วมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ทำหน้าที่ปกป้องเซลล์ในร่างกายจากการถูกทำลายของอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบต้านแบคทีเรียและไวรัส ป้องกันอาการแพ้ต่างๆ ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดหัวใจตีบ ลดความดันโลหิตสูง⁶¹ มีการวิจัยเกี่ยวกับการกินอาหารที่มี quercetin พบว่าช่วยลดความเสี่ยงโรคเมเร็งต์ดับอ่อนในคนที่สูบบุหรี่ และผลจากการทดลองกับสัตว์พบว่าสามารถป้องกันเมเร็งต์ล่าไส้ได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า quercetin สามารถจับเหล็ก (iron chelator) ที่ตำแหน่ง 3-hydroxyl และ 4-carbonyl⁶² ทำให้ลดการดูดซึมเหล็กเข้าสู่ลำไส้ quercetin สามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ไปจับกับเหล็กอิสระในเซลล์โดยผ่านทาง glucose transporters

(GLUTs)⁶³ ทำให้สามารถลดความเป็นพิษของเหล็กได้ Wang และคณะ⁶⁴ รายงานว่าการให้ quercetin ในหนูที่เป็นโรค Alzheimer ลด amyloid plaques และทำให้ชบวนการเรียนรู้และความจำของหนูดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับ quercetin, Ansari และคณะ⁶⁵ ได้ทำการทดลองพบว่า beta amyloid peptide (A β) กระตุ้นการตายของเซลล์ประสาท แต่ quercetin สามารถลดการตายของเซลล์ประสาทดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่า quercetin สามารถลด lipid peroxidation และ protein oxidation จากการถูกกระตุ้นด้วย A β ด้วย ซึ่งตรงกับ Choi และคณะ⁶⁶ ที่รายงานว่า A β กระตุ้นการตายของเซลล์ประสาทในหนูแต่ภาวะดังกล่าวถูกยับยั้งด้วย quercetin นอกจากนี้ Haleagrahara และคณะ⁶⁷ รายงานว่า เมื่อให้ 6-hydroxy-dopamine (6-OHDA) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการทำลาย catecholamine แก่หนู (นิยมใช้ในโมเดลของหนูที่ทำให้เป็นโรค Parkinson) พบว่าจำนวนเซลล์ประสาท ระดับสารสื่อประสาท dopamine และสารต้านอนุมูลอิสระ glutathione (GSH), superoxide dismutase (SOD) ลดลงในขณะที่ protein oxidation เพิ่มขึ้น เมื่อให้ quercetin แก่หนูดังกล่าวพบว่าสามารถลดการตายของเซลล์ประสาท เพิ่มสารสื่อประสาท dopamine เพิ่มระดับ GSH, SOD และลดระดับ protein oxidation ซึ่งตรงกับ Magalingam และคณะ⁶⁸ ที่พบว่า quercetin สามารถยับยั้งการตายของเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นด้วย 6-OHDA ลดระดับ lipid peroxidation และเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ GSH, SOD, catalase และ glutathione peroxidase นอกจากนี้ผลงานวิจัยของกลุ่มวิจัยการแพทย์ทางเลือกแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่นพบว่า quercetin สามารถป้องกันโรคสมองเสื่อม Parkinson⁶⁹

บทสรุป

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการกลายพันธุ์ของยีน HFE ส่งผลต่อระดับเหล็กในสมอง ดังนั้นบุคคลที่มีการกลายพันธุ์ของ HFE อาจมีความเครียด (oxidative stress) พื้นฐานที่สูงขึ้นทำให้ส่งผลต่อการตายของเซลล์ประสาทและมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ โรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (ALS) และโรคพาร์กินสัน จากคุณสมบัติของ quercetin ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สามารถจับกับเหล็ก ลดการดูดซึมของเหล็กเข้าสู่ลำไส้ ลดความเป็นพิษของเหล็ก และสามารถยับยั้งการตายของเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นด้วย A β และ 6-OHDA แสดงให้เห็นว่า quercetin น่าจะมีความสำคัญต่อการรักษาโรคทางระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับภาวะการมีเหล็กเกินในสมอง และน่าจะมีผลสำคัญในการลดภาวะความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์

โรคอะไมโอโทรฟิกแลเทอรัลสเกลอโรซิส (ALS) และโรคพาร์กินสัน ในบุคคลที่มีการกลายพันธุ์ของ HFE นอกจากนี้ quercetin น่าจะมีความสำคัญในการลดความเป็นพิษของเหล็กหรือลดระดับเหล็กในคนที่มีความผิดปกติเกิน (iron overload หรือ hemochromatosis)

เอกสารอ้างอิง

1. Beard JL, Connor JR, Jones BC. Iron in the brain. *Nutrition reviews* 1993;51:157-170.
2. Salvador GA. Iron in neuronal function and dysfunction. *Biofactors* 2010;36:103-110.
3. Halliwell B. Reactive oxygen species and the central nervous system. *Journal of neurochemistry* 1992;59:1609-1623.
4. Levenson CW, Tassabehji NM. Iron and ageing: an introduction to iron regulatory mechanisms. *Ageing research reviews* 2004;3:251-263.
5. Johnstone D, Milward EA. Molecular genetic approaches to understanding the roles and regulation of iron in brain health and disease. *Journal of neurochemistry* 2010;113:1387-1402.
6. Hallgren B, Sourander P. The effect of age on the non-haemin iron in the human brain. *Journal of neurochemistry* 1958;3:41-51.
7. Connor JR, Lee SY. HFE mutations and Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2006;10:267-276.
8. Connor JR, Menzies SL. Cellular management of iron in the brain. *Journal of the neurological sciences* 1995;134 Suppl:33-44.
9. Thompson KJ, Shoham S, Connor JR. Iron and neurodegenerative disorders. *Brain research bulletin* 2001;55:155-164.
10. Altamura S, Muckenthaler MU. Iron toxicity in diseases of aging: Alzheimer's disease, Parkinson's disease and atherosclerosis. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2009;16:879-895.
11. Chen Q, Connor JR, Beard JL. Brain iron, transferrin and ferritin concentrations are altered in developing iron-deficient rats. *The Journal of nutrition* 1995;125:1529-1535.
12. Zecca L, Youdim MB, Riederer P, Connor JR, Crichton RR. Iron, brain ageing and neurodegenerative disorders. *Nature reviews Neuroscience* 2004;5:863-873.
13. Ellervik C, Birgens H, Tybjaerg-Hansen A, Nordestgaard BG. Hemochromatosis genotypes and risk of 31 disease endpoints: meta-analyses including 66,000 cases and 226,000 controls. *Hepatology* 2007;46:1071-1080.
14. Allen KJ, Gurrin LC, Constantine CC, et al. Iron-overload-related disease in HFE hereditary hemochromatosis. *The New England journal of medicine* 2008;358:221-230.
15. Alexander J, Kowdley KV. HFE-associated hereditary hemochromatosis. *Genetics in medicine : official journal of the American College of Medical Genetics* 2009;11:307-313.
16. Merryweather-Clarke AT, Pointon JJ, Shearman JD, Robson KJ. Global prevalence of putative haemochromatosis mutations. *Journal of medical genetics* 1997;34:275-278.
17. Merryweather-Clarke AT, Pointon JJ, Jouanolle AM, Rochette J, Robson KJ. Geography of HFE C282Y and H63D mutations. *Genetic testing* 2000;4:183-198.
18. Connor JR, Milward EA, Moalem S, et al. Is hemochromatosis a risk factor for Alzheimer's disease? *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2001;3:471-477.
19. Bastin JM, Jones M, O'Callaghan CA, Schimanski L, Mason DY, Townsend AR. Kupffer cell staining by an HFE-specific monoclonal antibody: implications for hereditary haemochromatosis. *British journal of haematology* 1998;103:931-941.
20. Bulaj ZJ, Griffen LM, Jorde LB, Edwards CQ, Kushner JP. Clinical and biochemical abnormalities in people heterozygous for hemochromatosis. *The New England journal of medicine* 1996;335:1799-1805.
21. Burt MJ, George PM, Upton JD, et al. The significance of haemochromatosis gene mutations in the general population: implications for screening. *Gut* 1998;43:830-836.

22. Datz C, Haas T, Rinner H, Sandhofer F, Patsch W, Paulweber B. Heterozygosity for the C282Y mutation in the hemochromatosis gene is associated with increased serum iron, transferrin saturation, and hemoglobin in young women: a protective role against iron deficiency? *Clinical chemistry* 1998;44:2429-2432.
23. Wang XS, Lee S, Simmons Z, et al. Increased incidence of the Hfe mutation in amyotrophic lateral sclerosis and related cellular consequences. *Journal of the neurological sciences* 2004;227:27-33.
24. Cudkowicz ME, McKenna-Yasek D, Sapp PE, et al. Epidemiology of mutations in superoxide dismutase in amyotrophic lateral sclerosis. *Annals of neurology* 1997;41:210-221.
25. Goodall EF, Greenway MJ, van Marion I, Carroll CB, Hardiman O, Morrison KE. Association of the H63D polymorphism in the hemochromatosis gene with sporadic ALS. *Neurology* 2005;65:934-937.
26. Restagno G, Lombardo F, Ghiglione P, et al. HFE H63D polymorphism is increased in patients with amyotrophic lateral sclerosis of Italian origin. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2007;78:327.
27. Sutedja NA, Sinke RJ, Van Vught PW, et al. The association between H63D mutations in HFE and amyotrophic lateral sclerosis in a Dutch population. *Archives of neurology* 2007;64:63-67.
28. Oba H, Araki T, Ohtomo K, et al. Amyotrophic lateral sclerosis: T2 shortening in motor cortex at MR imaging. *Radiology* 1993;189:843-846.
29. Kasarskis EJ, Tandon L, Lovell MA, Ehmann WD. Aluminum, calcium, and iron in the spinal cord of patients with sporadic amyotrophic lateral sclerosis using laser microprobe mass spectroscopy: a preliminary study. *Journal of the neurological sciences* 1995;130:203-208.
30. Markesbery WR, Ehmann WD, Candy JM, et al. Neutron activation analysis of trace elements in motor neuron disease spinal cord. *Neurodegeneration : a journal for neurodegenerative disorders, neuroprotection, and neuroregeneration* 1995;4:383-390.
31. Yasui M, Ota K, Garruto RM. Concentrations of zinc and iron in the brains of Guamanian patients with amyotrophic lateral sclerosis and parkinsonism-dementia. *Neurotoxicology* 1993;14:445-450.
32. Jeong SY, Rathore KI, Schulz K, Ponka P, Arosio P, David S. Dysregulation of iron homeostasis in the CNS contributes to disease progression in a mouse model of amyotrophic lateral sclerosis. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 2009;29:610-619.
33. Goodall EF, Haque MS, Morrison KE. Increased serum ferritin levels in amyotrophic lateral sclerosis (ALS) patients. *Journal of neurology* 2008;255:1652-1656.
34. Mitchell RM, Simmons Z, Beard JL, Stephens HE, Connor JR. Plasma biomarkers associated with ALS and their relationship to iron homeostasis. *Muscle & nerve* 2010;42:95-103.
35. Wijesekera LC, Leigh PN. Amyotrophic lateral sclerosis. *Orphanet journal of rare diseases* 2009;4:3.
36. Rothstein JD. Current hypotheses for the underlying biology of amyotrophic lateral sclerosis. *Annals of neurology* 2009;65 Suppl 1:S3-9.
37. Lee SY, Patton SM, Henderson RJ, Connor JR. Consequences of expressing mutants of the hemochromatosis gene (HFE) into a human neuronal cell line lacking endogenous HFE. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 2007;21:564-576.
38. Mitchell RM, Lee SY, Simmons Z, Connor JR. HFE polymorphisms affect cellular glutamate regulation. *Neurobiology of aging* 2011;32:1114-1123.
39. Hall EC, 2nd, Lee SY, Mairuae N, Simmons Z, Connor JR. Expression of the HFE allelic variant H63D in SH-SY5Y cells affects tau phosphorylation at serine residues. *Neurobiology of aging* 2011;32:1409-1419.
40. Alzheimer A, Stelzmann RA, Schnitzlein HN, Murtagh FR. An English translation of Alzheimer's 1907 paper, "Über eine eigenartige Erkrankung der Hirnrinde". *Clin Anat* 1995;8:429-431.

41. Hardy J. A hundred years of Alzheimer's disease research. *Neuron* 2006;52:3-13.
42. Thinakaran G. The role of presenilins in Alzheimer's disease. *The Journal of clinical investigation* 1999;104:1321-1327.
43. Tanzi RE, Bertram L. Twenty years of the Alzheimer's disease amyloid hypothesis: a genetic perspective. *Cell* 2005;120:545-555.
44. Masters CL, Simms G, Weinman NA, Multhaup G, McDonald BL, Beyreuther K. Amyloid plaque core protein in Alzheimer disease and Down syndrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1985;82:4245-4249.
45. Selkoe DJ. Molecular pathology of amyloidogenic proteins and the role of vascular amyloidosis in Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging* 1989;10:387-395.
46. Smith MA, Sayre LM, Vitek MP, Monnier VM, Perry G. Early AGEing and Alzheimer's. *Nature* 1995;374:316.
47. Smith MA, Zhu X, Tabaton M, et al. Increased iron and free radical generation in preclinical Alzheimer disease and mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2010;19:363-372.
48. Rivera-Mancia S, Perez-Neri I, Rios C, Tristan-Lopez L, Rivera-Espinosa L, Montes S. The transition metals copper and iron in neurodegenerative diseases. *Chemico-biological interactions* 2010;186:184-199.
49. Rogers JT, Randall JD, Cahill CM, et al. An iron-responsive element type II in the 5'-untranslated region of the Alzheimer's amyloid precursor protein transcript. *The Journal of biological chemistry* 2002;277:45518-45528.
50. Cho HH, Cahill CM, Vanderburg CR, et al. Selective translational control of the Alzheimer amyloid precursor protein transcript by iron regulatory protein-1. *The Journal of biological chemistry* 2010;285:31217-31232.
51. Rottkamp CA, Raina AK, Zhu X, et al. Redox-active iron mediates amyloid-beta toxicity. *Free radical biology & medicine* 2001;30:447-450.
52. Mairuae N, Connor JR, Cheepsunthorn P. Increased cellular iron levels affect matrix metalloproteinase expression and phagocytosis in activated microglia. *Neuroscience letters* 2011;500:36-40.
53. Sampietro M, Caputo L, Casatta A, et al. The hemochromatosis gene affects the age of onset of sporadic Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging* 2001;22:563-568.
54. Pulliam JF, Jennings CD, Kryscio RJ, et al. Association of HFE mutations with neurodegeneration and oxidative stress in Alzheimer's disease and correlation with APOE. *American journal of medical genetics Part B, Neuropsychiatric genetics : the official publication of the International Society of Psychiatric Genetics* 2003;119B:48-53.
55. Double KL. Neuronal vulnerability in Parkinson's disease. *Parkinsonism & related disorders* 2012;18 Suppl 1:S52-54.
56. Chinta SJ, Andersen JK. Dopaminergic neurons. *The international journal of biochemistry & cell biology* 2005;37:942-946.
57. Ross CA, Poirier MA. Protein aggregation and neurodegenerative disease. *Nature medicine* 2004;10 Suppl:S10-17.
58. Costello DJ, Walsh SL, Harrington HJ, Walsh CH. Concurrent hereditary haemochromatosis and idiopathic Parkinson's disease: a case report series. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2004;75:631-633.
59. Dekker MC, Giesbergen PC, Njajou OT, et al. Mutations in the hemochromatosis gene (HFE), Parkinson's disease and parkinsonism. *Neuroscience letters* 2003;348:117-119.
60. Guerreiro RJ, Bras JM, Santana I, et al. Association of HFE common mutations with Parkinson's disease, Alzheimer's disease and mild cognitive impairment in a Portuguese cohort. *BMC neurology* 2006;6:24.
61. Russo M, Spagnuolo C, Tedesco I, Bilotto S, Russo GL. The flavonoid quercetin in disease prevention and therapy: facts and fancies. *Biochemical pharmacology* 2012;83:6-15.

62. Afanas'ev IB, Dorozhko AI, Brodskii AV, Kostyuk VA, Potapovitch AI. Chelating and free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation. *Biochemical pharmacology* 1989;38:1763-1769.
63. Baccan MM, Chiarelli-Neto O, Pereira RM, Esposito BP. Quercetin as a shuttle for labile iron. *Journal of inorganic biochemistry* 2012;107:34-39.
64. Wang DM, Li SQ, Wu WL, Zhu XY, Wang Y, Yuan HY. Effects of long-term treatment with quercetin on cognition and mitochondrial function in a mouse model of Alzheimer's disease. *Neurochemical research* 2014;39:1533-1543.
65. Ansari MA, Abdul HM, Joshi G, Opii WO, Butterfield DA. Protective effect of quercetin in primary neurons against Aβ(1-42): relevance to Alzheimer's disease. *The Journal of nutritional biochemistry* 2009;20:269-275.
66. Choi SM, Kim BC, Cho YH, et al. Effects of Flavonoid Compounds on beta-amyloid-peptide-induced Neuronal Death in Cultured Mouse Cortical Neurons. *Chonnam medical journal* 2014;50:45-51.
67. Haleagrahara N, Siew CJ, Ponnusamy K. Effect of quercetin and desferrioxamine on 6-hydroxydopamine (6-OHDA) induced neurotoxicity in striatum of rats. *The Journal of toxicological sciences* 2013;38:25-33.
68. Magalingam KB, Radhakrishnan A, Haleagrahara N. Protective effects of flavonol isoquercitrin, against 6-hydroxy dopamine (6-OHDA)-induced toxicity in PC12 cells. *BMC research notes* 2014;7:49.
69. Sriraksa N, Wattanathorn J, Muchimapura S, Tiamkao S, Brown K, Chaisiwamongkol K. Cognitive-enhancing effect of quercetin in a rat model of Parkinson's disease induced by 6-hydroxydopamine. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM* 2012;2012:823206.

บทบาทของเฟอริตินในมะเร็ง The Role of Ferritin in Cancer

เบญจพร บุราณรัตน์¹

Benjaporn Buranrat¹

Received: 6 September 2014 ; Accepted: 14 December 2014

บทคัดย่อ

เฟอริตินเป็นโปรตีนหลักในการเก็บเหล็กและมีความจำเป็นในการควบคุมสมดุลของเหล็กเฟอริตินเป็นไกลโคโปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากตับ เมื่อปริมาณของเหล็กภายในร่างกายสูงขึ้น เฟอริตินสามารถนำและเก็บเหล็ก เพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายเซลล์จากระดับเหล็กอิสระที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อร่างกายต้องการเหล็กเพิ่มมากขึ้น เฟอริตินสามารถปลดปล่อยเหล็กออกมาได้ตลอดเวลา เฟอริตินมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีรวิทยาและพยาธิวิทยา เช่น การขนส่งเหล็ก การเจริญเติบโต การสร้างหลอดเลือดใหม่ การยับยั้งภูมิคุ้มกันของร่างกายและมะเร็ง สำหรับมะเร็ง เฟอริตินมีการแสดงออกที่สูงในเซลล์แมโครฟาจที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมมะเร็ง การก้าวหน้าของมะเร็งและการดื้อยาเคมีบำบัด มากกว่านั้นมีการตรวจพบระดับเฟอริตินสูงในซีรัมของผู้ป่วยมะเร็ง ซึ่งระดับเฟอริตินยังมีความสัมพันธ์กับการรุนแรงของโรคและการพยากรณ์ของโรคที่ไม่ดีนัก ที่สำคัญเฟอริตินมีระดับที่สูงในมะเร็งเต้านม มะเร็งตับ มะเร็งปอด มะเร็งตับอ่อน มะเร็งเม็ดเลือดขาวและอื่นๆ ในบทความนี้จะกล่าวถึงบทบาทของเฟอริตินที่ทำให้มะเร็งก้าวหน้าและการดื้อต่อการรักษา

คำสำคัญ: เฟอริติน มะเร็ง เหล็ก

Abstract

Ferritin is a major iron storage protein and necessary to iron homeostasis. Ferritin is glycoprotein synthesized by the liver organ. When the iron level in the body increases, ferritin can uptake and storage the iron avoiding the cytotoxicity caused by the high level of free iron; when body needs more iron, ferritin can release iron at any time. Ferritin is concerned in a wide range of physiologic and pathologic processes such as iron delivery, proliferation, angiogenesis, immunosuppression, and cancer. In the situation of cancer, ferritin is highly expressed in tumor-associated macrophages which have been recently recognized as having critical roles in tumor promotion, tumor progression and chemoresistance. Moreover, ferritin is detected at higher levels in the many cancer patient serum, and the higher levels correlate with aggressive disease and poor clinical outcome. Importantly, Ferritin levels increase in breast cancer, liver cancer, lung cancer, pancreatic cancer, leukemia and others. In this paper, we focused on the role of ferritin's contributions to tumor progression and therapy resistance.

Keywords: ferritin, cancer, iron

¹ อาจารย์, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang district, Mahasarakham Province, 44000, Thailand
Email: buranrat@gmail.com

บทนำ

Ferritin ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ในปี 1937 ทำการสกัดและแยกได้มาจากม้ามของม้า ferritin เป็นไกลโคโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีขนาดโมเลกุลประมาณ 450 กิโลดาลตัน ถูกสร้างโดยตับ ประกอบไปด้วย 24 ยูนิตย่อย แต่ละยูนิต ประกอบไปด้วย H-ferritin (heavy chain) และ L-ferritin (light chain)(Figure 1) มีขนาดโมเลกุลเท่ากับ 21 และ 19 กิโลดาลตันตามลำดับ หน้าที่หลักของ ferritin คือการเก็บเหล็กไว้ในโมเลกุลและควบคุมปริมาณเหล็กภายในร่างกายเพื่อทำให้เกิดความสมดุล¹ กล่าวคือเมื่อระดับเหล็กในเลือดสูงขึ้นจากเซลล์ที่ตายหรือจาก reticuloendothelial (RE) cells จะกระตุ้นให้ ferritin มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการห่อหุ้มและเก็บเหล็กอิสระเอาไว้ภายในโมเลกุล ลดความเสียหายจากเหล็กอิสระที่จะกระทำต่อกับไขมัน ดีเอ็นเอ โปรตีนของร่างกาย เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อปริมาณเหล็กลดลง ferritin จะทำหน้าที่ปลดปล่อยเหล็กออกจากโมเลกุลเพื่อให้ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป มีการตรวจพบ ferritin ในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น หัวใจ ตับ ม้าม กล้ามเนื้อ ไชกระดูก และไต เป็นต้น

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ระดับของ ferritin ที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อการทำงานของร่างกายไม่ว่า ferritin จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ตาม เมื่อร่างกายมีระดับ ferritin ต่ำลงจะส่งผลให้เกิดโรคเลือดจางจากการขาดเหล็ก เป็นต้น ระดับ ferritin สูงขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคมะเร็ง การอักเสบ โรคตับ เป็นต้น ซึ่งระดับ ferritin ที่มีระดับสูงขึ้นในเลือด สามารถนำมาเป็นสัญญาณบ่งชี้ของโรคมะเร็ง จากการศึกษาค้นพบว่ามะเร็งหลายชนิดมีการสร้างและหลั่ง ferritin เพิ่มมากขึ้น เช่น มะเร็งตับ มะเร็งปอด มะเร็งตับอ่อน มะเร็งเต้านม มะเร็งเม็ดเลือดขาว เป็นต้น² โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงบทบาทหน้าที่ของ ferritin ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีพยาธิสภาพโดยเน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ferritin กับมะเร็งแต่ละชนิด

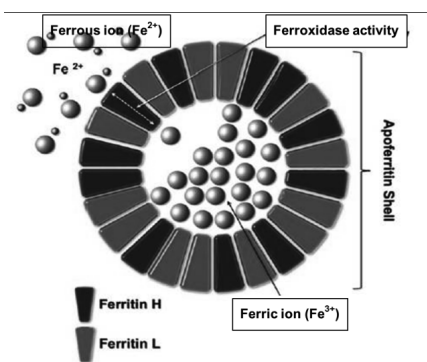


Figure 1 Ferritin structure³.

บทบาทของ ferritin

Ferritin กับบทบาทในการขนส่งและการเก็บเหล็ก

Ferritin มีหน้าที่หลักภายในร่างกายคือการเก็บเหล็กไว้ภายในโมเลกุลและการควบคุมปริมาณเหล็กภายในร่างกายให้เกิดความสมดุล พบว่าหนึ่งโมเลกุลของ ferritin สามารถเก็บเหล็กได้ประมาณ 4500 อะตอม เมื่อปริมาณเหล็กภายในร่างกายสูงขึ้น ferritin จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเหล็กที่อยู่ในรูป ferrous ion (Fe²⁺) ให้กลายเป็น ferric ion (Fe³⁺) เก็บไว้ภายในโมเลกุลของ ferritin เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงความเสียหายจากเหล็กอิสระ (insoluble ferric ion) ต่อเซลล์ภายในร่างกาย แต่เมื่อร่างกายมีปริมาณของเหล็กอิสระลดลง ferritin จะปลดปล่อยเหล็กที่เก็บไว้ออกมาสู่กระแสเลือดเพื่อให้ร่างกายสามารถนำเหล็กไปใช้งานในกระบวนการต่างๆ ของร่างกายต่อไป

ผู้ใหญ่จะมีเหล็กอยู่ภายในร่างกายประมาณ 40-50 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว หรือ 2-4 กรัมเหล็กปริมาณร้อยละ 65-67 จะเก็บสะสมอยู่ในรูปฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง ร้อยละ 23-27 จะถูกเก็บใน reticuloendothelial cells ของตับ ม้ามและไขกระดูกในรูปของ ferritin และ hemosiderin ส่วนโปรตีนที่มีหน้าที่ในการขนส่งเหล็กไปที่อวัยวะต่างๆ คือ transferrin ทำหน้าที่ขนส่งเหล็กไปส่วนต่างๆ ของร่างกาย ในแต่ละวันจะมีเหล็กหมุนเวียนประมาณ 20 มิลลิกรัมจากเซลล์เม็ดเลือดแดงที่ถูกทำลาย ร่างกายขับเหล็กออกมาน้อยมาก

เหล็กจะถูกดูดซึมจากลำไส้ โดย ferritin ทำหน้าที่ในการควบคุมการดูดซึมเหล็กจากลำไส้ ร่างกายจะดูดซึมเหล็กโดยลำไส้ผ่าน mucosal cell เก็บไว้ใน ferritin สภาวะปกติจะพบ ferritin ในระดับต่ำ เพราะส่วนใหญ่จะเก็บอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ม้าม ไชกระดูก และกล้ามเนื้อ เป็นต้น เหล็กที่สะสมอยู่นี้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อร่างกายมีการขาดเหล็กหรือเกิดจากการดูดซึมเหล็กที่ไม่เพียงพอจากลำไส้⁴

Ferritin มี 2 ชนิดคือ L-ferritin และ H-ferritin⁵ โดย ferritin ทั้ง 2 ชนิดทำหน้าที่ร่วมกันคือช่วยในกระบวนการเก็บเหล็กเข้าสู่โมเลกุลของ ferritin พบว่า H-ferritin ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ ferroxidase เปลี่ยน Fe²⁺ เป็น Fe³⁺ และเก็บเหล็กเข้าสู่โมเลกุลของ ferritin⁶ ส่วน L-ferritin ที่มีปริมาณ carboxy group สูงสามารถทำให้เหล็กที่เก็บไว้ในโมเลกุลสร้างเป็นนิวเคลียสที่เป็นผลึกหรือที่เรียกว่า "nucleation site" ได้เร็วกว่า H-ferritin⁷ ทำให้โมเลกุลของเหล็กมีความเสถียรมากขึ้นในโมเลกุลของ ferritin สามารถลดปริมาณเหล็กอิสระที่จะไปทำลายเซลล์ได้ (Figure 2) ในการทำงานของ H-ferritin จะมีการทำงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของ glutamic acid สูง ทำให้เก็บเหล็กเข้าสู่โมเลกุลดีขึ้น⁸

Ferritin ทำหน้าที่ในการเก็บเหล็กอิสระจำนวนมาก เข้าไว้ในโมเลกุล ลดการทำลายเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย ที่เป็นสาเหตุหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรค เช่น การอักเสบ มะเร็ง โรคเรื้อรังอื่นๆ เป็นต้น สาเหตุที่ช่วยส่งเสริมการเกิดโรคดังกล่าวข้างต้นอาจมาจาก serum ferritin ที่ลดลง ทำให้ไม่สามารถเก็บเหล็กอิสระได้ทั้งหมด ทำให้ส่งเสริมการเกิดโรคหรือพยาธิสภาพของโรคให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น (Figure 3)

Ferritin กับการเป็นตัวส่งสัญญาณภายในเซลล์ มีการศึกษาพบว่าในกระบวนการอักเสบจะมีระดับ serum ferritin เพิ่มขึ้น จึงถือได้ว่า ferritin เป็น pro-inflammatory cytokine ที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบ ในการศึกษาผลของ L-ferritin ใน primary rat hepatic stellate cells พบว่า L-ferritin สามารถกระตุ้น

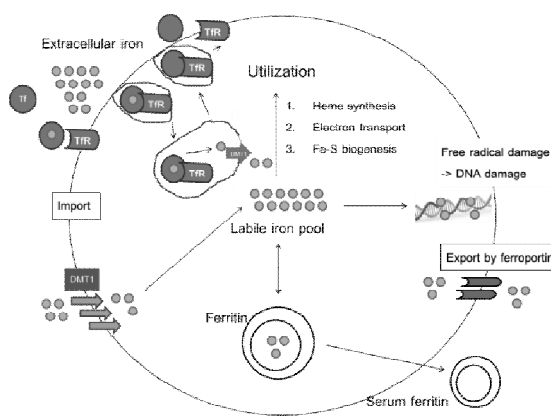


Figure 2 Intracellular Iron Homeostasis: Ferritin functions as a ferroxidase, converting Fe^{2+} to Fe^{3+} as iron is internalized and sequestered in the ferritin mineral core. Reactive species can directly damage DNA and proteins. (DMT1 = divalent metal ion transporter 1, Tf = Transferrin, TfR = Transferrin receptor) ³

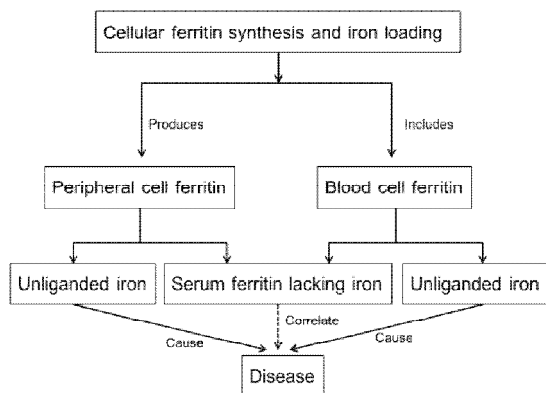


Figure 3 The role of ferritin in diseases.

IKK- α/β นำไปสู่การกระตุ้น NF- κ B ได้และก่อให้เกิดการอักเสบตามมา นอกจากนี้ยังพบว่า ferritin กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MCF-7 และ T47D cells⁹ โดย ferritin ที่อยู่นอกเซลล์สามารถเข้าสู่เซลล์และไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมได้โดยตรง ที่สำคัญคือไม่อาศัยเหล็กภายในโมเลกุลของ ferritin เพราะ ferritin ที่มีเหล็กในโมเลกุล (human liver ferritin และ holo ferritin) และ ไม่มีเหล็กในโมเลกุล (apo ferritin) กระตุ้นการเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างกัน⁹ แสดงว่า ferritin สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งโดยไม่ต้องอาศัยการทำงานของเหล็กที่อยู่ในโมเลกุลเลย

Ferritin กับการสร้างหลอดเลือดใหม่

ในกระบวนการสร้างหลอดเลือดใหม่ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่างร่วมกัน โดยพบว่า ferritin สามารถจับกับ high molecular weight kininogen (HK) นำไปสู่การลดลงของ proteolytic cleavage และเพิ่มการสร้าง bradykinin ที่มีหน้าที่ในการคลายตัวของหลอดเลือด¹⁰ ferritin สามารถจับโปรตีนที่ยับยั้งการสร้างหลอดเลือดใหม่ เช่น anti-angiogenic 2-chain high molecular weight kininogen (HKa) ทำให้ ferritin กระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่¹¹

ในการศึกษาผลของ HKa และ L-ferritin ใน endothelial cells พบว่า L-ferritin สามารถยับยั้งการตายแบบอะพอพโตซิส กระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่และเพิ่มการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้¹¹ ฤทธิ์การปกป้องเซลล์จากการเกิดอะพอพโตซิสไม่เกี่ยวข้องกับเหล็กที่มีอยู่ในโมเลกุล การศึกษาในหนูทดลองโดยการฉีดเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมากพร้อมด้วย HKa และ ferritin เข้าไปในหนูทดลอง พบว่ามีการสร้างหลอดเลือดใหม่ในก้อนมะเร็ง ผ่านการกระตุ้น AKT, ERK1/2, FAK และ paxillin เป็นต้น¹²

Ferritin กับบทบาทที่เกี่ยวข้องกับการกดภูมิคุ้มกัน

การกดภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นในคนไข้มะเร็งถือเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการพัฒนาวัคซีนที่มีผลในการรักษามะเร็ง ทำให้มะเร็งหลายชนิดต้องอาศัยวัคซีนที่ใช้ในการรักษา จากหลักฐานวิจัยพบว่า ferritin มีผลในการกดการทำงานของเซลล์ lymphocyte และ myeloid cells ทำให้ลดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกาย Fargion และคณะ¹³ พบว่าการใช้ recombinant H-ferritin และ L-ferritin เพื่อจับกับ H-ferritin และ L-ferritin บนผิวของเซลล์ peripheral lymphocytes ทำให้ phytohaemagglutinin (PHA) ไม่สามารถกระตุ้นการทำงานของเซลล์ lymphocytes ได้ และยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์อีกด้วย การศึกษา immuno-screening จาก cDNA library ในเซลล์ MM200 melanoma พบว่า H-ferritin จะถูกหลั่งออกมาเมื่อเกิดการกดภูมิคุ้มกันขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หลักฐานงานวิจัยพบว่าคนไข้มะเร็งชนิด melanoma มีปริมาณ H-ferritin เพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนของ CD4+ CD25+ regulator T cells ในกระแสเลือด¹⁴ และการกดภูมิคุ้มกัน ในกลุ่ม H-ferritin mutants มีการกดภูมิคุ้มกันที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ H-ferritin wild type เนื่องจากมีการทำงานของ ferroxidase activity ที่ต่ำลง¹⁵ ทำให้ความสามารถในการเก็บเหล็กลดลง ถึงแม้ว่า serum ferritin จะมี L-ferritin ที่ทำงานร่วมกัน แต่จากการหลักฐานการวิจัยพบว่าการเพิ่มขึ้นของ H-ferritin เกี่ยวข้องกับการกดภูมิคุ้มกันในมะเร็งมากกว่า L-ferritin

Serum ferritin กับประโยชน์ใช้ทางคลินิก

ในบางสภาวะ serum ferritin จะมีปริมาณสูงขึ้นเช่น โรคเรื้อรังและการอักเสบ เป็นต้น¹⁶ การเพิ่มขึ้นของ ferritin จะสัมพันธ์กับปริมาณ C-reactive protein (CRP) และ alpha1-acid glycoprotein (AGP) พบว่าคนไข้ที่มีการอักเสบเรื้อรังและได้รับการรักษาด้วย aspirin ส่งผลให้ปริมาณ serum ferritin และ CRP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ¹⁷ ในคนไข้มะเร็งที่ได้รับการรักษาด้วย tumor necrosis factor- α (TNF- α) และ interferone gamma (IFN- γ) พบว่า serum ferritin และ CRP มีปริมาณสูงขึ้นภายใน 48 ชั่วโมงและมีปริมาณ serum ferritin สูงต่อไปเป็นเวลานานถึงสิบวัน¹⁸

Serum ferritin ถือเป็นตัวชี้วัดปริมาณเหล็กภายในร่างกาย เราจะพบระดับ ferritin ปริมาณน้อยในคนไข้ที่เป็นโรคเลือดจางและคนที่บริจาคเลือด ในทางตรงกันข้าม ferritin จะมีปริมาณสูงในคนไข้ที่ได้รับเหล็กมากเกินไป (iron overload หรือ hemochromatosis)¹⁹ ตามปกติผู้หญิงจะมีปริมาณ serum ferritin ต่ำกว่าผู้ชายเพราะผู้หญิงมีการสูญเสีย hemoglobin ในระหว่างที่มีประจำเดือน ระดับ serum ferritin จะมีความแตกต่างระหว่างบุคคลขึ้นอยู่กับอายุ การได้รับเหล็กเสริมเข้าไป การกินปริมาณ heme-iron การออกกำลังกาย การเข้ายา การเป็นโรคเรื้อรัง เป็นต้น

Ferritin และ มะเร็ง

Ferritin มีการแสดงออกสูงในเซลล์มะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งตับ มะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งเต้านม และมะเร็งตับอ่อน เป็นต้น² จากการศึกษาพบว่า ferritin ในมะเร็งมีความแตกต่างจาก ferritin ในสภาวะปกติทั้งด้านโครงสร้าง และอัตราส่วนของ H-ferritin และ L-ferritin มะเร็งเต้านมมีการแสดงออกของ L-ferritin มากกว่าเซลล์ปกติประมาณ 6 เท่า²⁰ การเพิ่มขึ้นของ L-ferritin มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มการเจริญเติบโตของ epithelial cell การเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพ และ

อัตราการมีชีวิตที่สั้นลง จากข้อมูลพบว่า ferritin มีการแสดงออกสูงใน epithelial ductal cell เซลล์มะเร็งเต้านม และเนื้อเยื่อคนไข้มะเร็งเต้านม เป็นต้น⁹

ปริมาณ ferritin ที่เพิ่มสูงในเซลล์มะเร็ง ทำให้ปริมาณเหล็กอิสระภายในเซลล์ลดลง โดยเซลล์มะเร็งจะเพิ่มตัวรับ (transferrin receptor) ที่ผิวเซลล์มะเร็งเพื่อขนส่งเหล็กเข้าสู่เซลล์ แต่ลดปริมาณตัวรับ (ferroportin) ที่ขนส่งเหล็กออกจากเซลล์มะเร็ง²¹ จากผลดังกล่าวจึงสรุปว่าเซลล์มะเร็งมีปริมาณเหล็กภายในเซลล์ในระดับต่ำ เพราะมีการนำเหล็กเข้าไปเก็บภายในโมเลกุลของ ferritin ferritin มีการสร้างและหลั่งออกมาจากเซลล์ที่อยู่รอบๆ โดยเฉพาะเซลล์ macrophage หรือที่เรียกว่า "ferritin-rich macrophages"²² การทำงานของเซลล์ macrophage ที่มีผลต่อมะเร็งเรียก tumor-associated macrophages (TAMs)

จากหลักฐานพบว่า TAMs มีการสร้าง ferritin ในปริมาณที่สูง นำไปสู่การป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระของเหล็ก เมื่อเซลล์มะเร็งได้รับ ferritin จาก TAMs ส่งผลให้เซลล์มะเร็งมีการเจริญเติบโต เพิ่มการสร้างหลอดเลือดใหม่¹¹ และลดการทำงานของเซลล์ lymphocyte¹³ จากผลดังกล่าวทำให้ ส่งเสริมการเติบโตของมะเร็งและความสมดุลภายในก้อนมะเร็งเสียไปจากเซลล์ปกติ

เซลล์มะเร็งที่มีการปริมาณ ferritin สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 2 แบบคือ (1) ferritin ทำหน้าที่ในการเก็บเหล็กอิสระเข้าสู่โมเลกุล และลดปริมาณสารอนุมูลอิสระจากการทำงานของยาเคมีบำบัด นำไปสู่การลดการตายของเซลล์มะเร็ง (2) ferritin มีผลในเซลล์ macrophages ส่งผลทำให้เซลล์อยู่ในสภาวะ M2 (protumorigenic) เพิ่มปริมาณ serum ferritin นำไปสู่ angiogenesis, immunosuppression, antioxidant, oncogenic signaling, iron delivery และกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งที่อยู่ข้างเคียงต่อไป (Figure 4)

การตรวจวัดปริมาณ serum ferritin ในคนไข้มะเร็งพบว่าปริมาณที่สูงมากกว่าคนปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น มะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งตับ มะเร็งสมอง มะเร็งหัวและคอ มะเร็งไต มะเร็งปอด มะเร็งตับอ่อน มะเร็งเต้านม เป็นต้น² การเพิ่มขึ้นของ serum ferritin สัมพันธ์กับการก้าวหน้าของโรค และการมีชีวิตรอดของคนไข้ พบ serum L-ferritin ในคนไข้มะเร็งมากกว่า serum H-ferritin ในคนไข้มะเร็ง และมีการตรวจพบปริมาณ serum ferritin สูงกว่าคนปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาการตอบสนองของคนไข้มะเร็งเต้านมต่อ trastuzumab ferritin ลดการตอบสนองของยาในคนไข้มะเร็งดังกล่าว²³

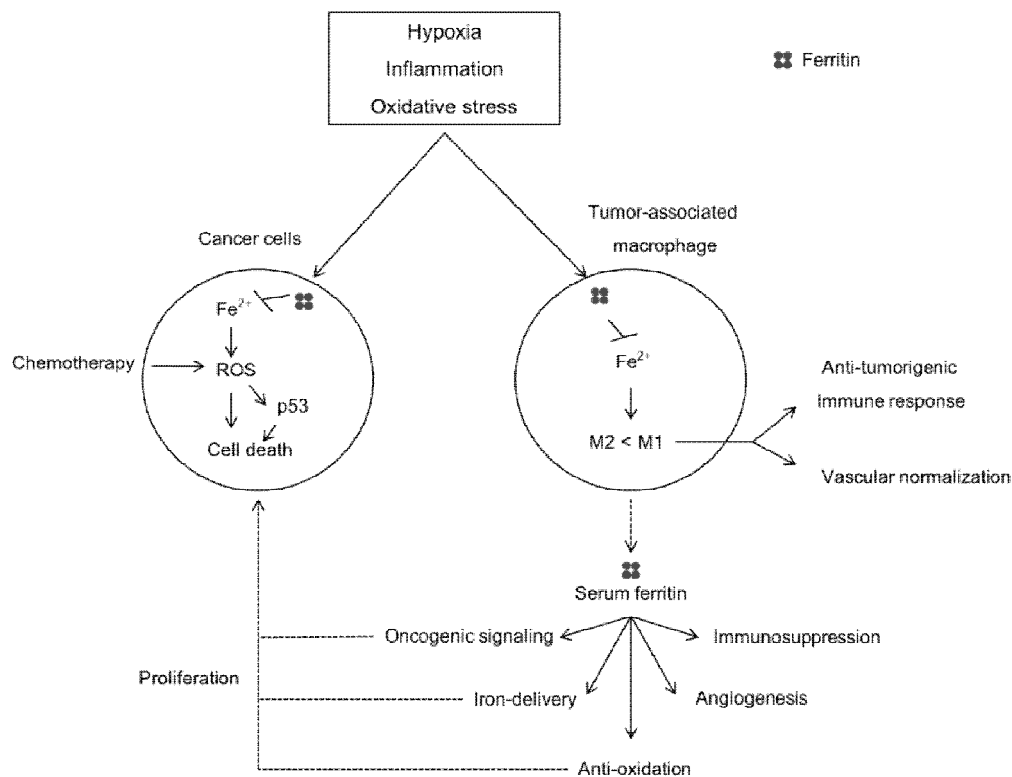


Figure 4 The function and regulation of ferritin in tumors. Ferritin protects cancer cells from the iron-induced generation of reactive oxygen species (ROS) thus increasing their resistance to chemotherapy. In tumor-associated macrophages, ferritin plays a role in maintaining a pro-tumorigenic (M2) program. Aside from its intracellular roles, serum (extracellular ferritin) can stimulate angiogenesis, immunosuppression, and proliferation through various mechanisms.²

มะเร็งเต้านม

ระดับ ferritin ในเนื้อเยื่อมะเร็งเต้านมเปรียบเทียบกับเนื้อเยื่อของเต้านมปกติ พบว่าเนื้อเยื่อมะเร็งเต้านมมีระดับ ferritin สูงกว่าเนื้อเยื่อปกติถึงหกเท่า⁹ คนไข้มะเร็งเต้านมก่อนที่จะทำการผ่าตัด มี serum ferritin สูงถึง 41%²⁴ แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่ยืนยันว่า ferritin มีผลกระตุ้นการเกิดโรคมะเร็งอย่างชัดเจน เพียงแค่สรุปว่า serum ferritin เป็นตัวชี้วัดในการเป็นมะเร็งเท่านั้น มีบางรายงานกล่าวว่าระดับ ferritin มีผลทำให้การพยากรณ์ของมะเร็งเต้านมไม่ดี ส่งผลให้คนไข้อาจจะมีชีวิตไม่ยืนยาวหลังการรักษา

การศึกษาของ Jezequel และคณะ²⁰ พบว่าระดับ L-ferritin ถูกหลั่งออกมาจากเซลล์ macrophage ที่อยู่ข้างเคียงเซลล์มะเร็งเพราะเซลล์มะเร็งเต้านมไม่สามารถสร้างและหลั่ง ferritin ออกมาได้เอง การศึกษาในเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MCF-7 และ MDA-MB-231 พบว่าเซลล์ MCF-7 มีการแสดงออกของ L-ferritin และ H-ferritin ต่ำ ส่วนเซลล์ MDA-

MB-231 มีการแสดงออกทั้ง L-ferritin และ H-ferritin สูง เซลล์ที่มีระดับ H-ferritin สูงจะมีความไวต่อการรักษาด้วยยาเคมีบำบัดชนิด doxorubicin²⁵ มากกว่าเซลล์ที่มีปริมาณ L-ferritin สูง การทดลองของ Alkhateeb และคณะพบว่า ferritin สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MCF-7 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁹

โดยมีการสร้างและหลั่ง ferritin จากเซลล์ macrophages ซึ่ง ferritin กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมผ่านการเก็บเหล็กไว้ภายในโมเลกุล ลดสารอนุมูลอิสระที่จะมาทำลายเซลล์มะเร็งเต้านม การพัฒนาแนวทางการรักษาต่อไปในอนาคตคือการลดปริมาณ ferritin หรือการยับยั้งการหลั่ง ferritin จากเซลล์ macrophages ซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจต่อไปในอนาคต การรักษาแบบ ferritin-based therapies จึงเหมาะกับคนไข้มะเร็งที่มีระดับ serum ferritin ในปริมาณที่สูง

มะเร็งปอด

การศึกษาของ Milman และคณะ²⁶ ในคนไข้มะเร็งปอดชนิด non-small cell lung cancer (NSCLC) จำนวน 90 คนและชนิด small cell lung cancer (SCLC) จำนวน 25 คนทำการตรวจติดตามเพื่อวัดระดับ serum ferritin ผลการทดลองพบว่าคนไข้มะเร็งทั้งสองชนิดมีระดับ serum ferritin มากกว่าคนปกติประมาณ 1.6 เท่า คนไข้มะเร็งชนิด SCLC มีระดับ ferritin ที่สูงกว่า NSCLC แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคนไข้มะเร็งสองกลุ่ม คนไข้ที่มีระดับ ferritin สูงกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีอัตราการมีชีวิตอยู่ (survival rate) น้อยกว่าคนไข้ที่มีระดับ ferritin ต่ำกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลิตร การศึกษาในสรุปว่าระดับ ferritin ของคนไข้สามารถนำมาพยากรณ์โรคได้

การศึกษาของ Carpagnano และคณะ²⁷ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างระดับ serum ferritin กับ มะเร็งปอดชนิด NSCLC จำนวน 40 คน เปรียบเทียบกับคนปกติจำนวน 15 คน โดยทำการวัดระดับ ferritin และ superoxide dismutase (SOD) ผ่านการหายใจออกของคนไข้ ติดตามคนไข้เป็นเวลา 25 เดือน จากการศึกษาพบว่าระดับ ferritin ของคนไข้มะเร็งมีปริมาณสูงกว่าคนปกติอย่างมีนัยสำคัญ ระดับ ferritin ในร่างกายอาจจะเกี่ยวข้องกับลักษณะทางคลินิกของคนไข้มะเร็งปอด และอาจจะเป็นตัวชี้วัดถึงการรักษาของคนไข้ได้ ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

มะเร็งลำไส้

การศึกษาของ Prutki และคณะในปี 2006²⁸ ถึงระดับและการกระจายของ transferrin receptor (TfR) 1 และ ferritin ในคนไข้มะเร็งลำไส้ จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง ferritin กับมะเร็งระยะต่างๆ การศึกษาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างระดับ serum hemoglobin, iron และ ferritin ในคนไข้มะเร็งลำไส้จำนวน 92 ราย พบว่าคนไข้ที่มีขนาดของก้อนมะเร็งมากกว่า 3 เซนติเมตรจะมีระดับ serum hemoglobin, iron และ ferritin ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมะเร็งที่มีขนาดน้อยกว่า 3 เซนติเมตร คนไข้มะเร็งลำไส้ส่วนปลายจะมีระดับ serum hemoglobin, iron และ ferritin มากกว่ามะเร็งลำไส้ส่วนต้น²⁹ ซึ่งมีรายงานบางรายกล่าวว่า การที่คนไข้มะเร็งลำไส้มีระดับ ferritin ที่ลดลงเพราะการเสียเลือดของคนไข้ ทำให้ระดับ iron และ ferritin ของคนไข้บางรายต่ำลง ซึ่ง ferritin ที่ลดลง อาจจะเป็นตัวชี้วัดโอกาสเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้

มะเร็งไต

Ali และคณะทำการศึกษาเพื่อดูความสัมพันธ์ serum iron, ferritin, nitrite ในคนไข้มะเร็งไต ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า

ระดับ serum ferritin ลดลงแต่ระดับ ferritin ในเนื้อเยื่อมะเร็งเพิ่มสูงขึ้น ผลสรุปว่า ferritin ที่มีการสร้างขึ้นถูกนำไปเก็บไว้ที่เนื้อเยื่อที่จะมีโอกาสเปลี่ยนเป็นมะเร็งไตเพิ่มขึ้น เนื่องจากไตเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่ในการเมแทบอลิซึมของเหล็ก ถ้าหากระดับ serum ferritin เพิ่มมากขึ้นอาจจะเกี่ยวข้องกับการเกิดและการพัฒนาของมะเร็งไตได้³⁰ การศึกษาระดับ serum ferritin ในคนไข้มะเร็งไต จำนวน 32 ราย³¹ พบว่าระดับของ serum ferritin ในคนไข้มะเร็งไต มีระดับที่สูงมากกว่าคนปกติประมาณ 283.23 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และ 79.98 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งไม่ทราบแน่ชัดถึงแหล่งที่มีการผลิต ferritin³¹

มะเร็งต่อมลูกหมาก

การศึกษาทดลองในมะเร็งต่อมลูกหมากโดย Kuvibidila และคณะ³² คนไข้มะเร็งต่อมลูกหมากจำนวน 34 คน เปรียบเทียบกับคนปกติจำนวน 84 คน ผลการศึกษาพบว่า serum ferritin ในคนไข้มะเร็งมีปริมาณต่ำกว่าคนปกติ คือ 156 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 245 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาของ Richardson และคณะ³³ ยังยืนยันว่า serum ferritin ในคนไข้มะเร็งต่อมลูกหมากลดลงจากคนปกติถึง 44.8% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่มีความสัมพันธ์กับการอักเสบของเนื้อเยื่อ ระยะของการเป็นมะเร็ง (tumor stage) หรือระดับโปรตีนอื่นๆ ทางผู้วิจัยสรุปว่า ferritin ไม่สัมพันธ์กับมะเร็งต่อมลูกหมากในการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น

สรุปผล

มะเร็งหลายชนิดมีการแสดงออกของ ferritin ในระดับสูง ซึ่งปริมาณ ferritin ในคนไข้มะเร็งอาจจะมีความสัมพันธ์กับการรักษามะเร็ง นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดในการวินิจฉัยโรค การประเมินผลการรักษา การพยากรณ์โรค การประเมินการแพร่กระจายของโรค มะเร็งไตดีและแมนยามากขึ้น คนไข้มะเร็งมีระดับ ferritin สูงทั้งในเนื้อเยื่อ และ serum เมื่อเทียบกับคนปกติ เซลล์ที่มีบทบาทในการสร้างและปลดปล่อย ferritin คือ macrophage หรือ TAMs ที่อยู่รอบๆ เซลล์มะเร็ง ยังไม่มีตัวชี้วัดที่แน่นอนถึงกลไกการสร้างและการหลั่งดังกล่าว จากผลข้างต้นที่กล่าวมานำมาสู่คำถามที่น่าสนใจว่า ferritin ที่มีปริมาณสูงขึ้นนี้เป็นตัวช่วยส่งเสริมหรือกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งหรือไม่ พบว่า L-ferritin สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและการสร้างหลอดเลือดใหม่ได้ ส่วน H-ferritin สามารถกีดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน

การศึกษาต่อไปในอนาคตถึงการเปลี่ยนแปลงระดับ ferritin ใน TAMs และการศึกษาถึงบทบาทของ ferritin ในการ

เกิดมะเร็งจึงเป็นที่น่าสนใจมาก จากบทบาทในการเก็บเหล็กไว้ภายในโมเลกุลของ ferritin ทำให้การสร้างสารอนุมูลอิสระลดลง ดังนั้นการลดระดับของ ferritin ในเนื้อเยื่อมะเร็งจึงอาจจะส่งผลเพิ่มการตายของเซลล์จากปริมาณสารอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นจากข้อมูลแสดงว่าการยับยั้งการทำงานของ TAMs เพื่อลดระดับ ferritin จะทำให้เซลล์มะเร็งต่างๆ มีความไวต่อยาเคมีบำบัดมากขึ้นและยับยั้งการสร้างหลอดเลือดใหม่ในเนื้อเยื่อมะเร็งเพื่อลดการแพร่กระจายไปสู่อวัยวะที่อยู่ไกลได้ Ferritin มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ส่งผลต่อยาเคมีบำบัดที่ออกฤทธิ์ทำลายเซลล์มะเร็งผ่านการสร้างสารอนุมูลอิสระด้วย เช่น กลุ่ม anthracyclines (doxorubicin, busulfan) และ alkylating agents (cyclophosphamide, cisplatin) เป็นต้น สารอนุมูลอิสระที่ปลดปล่อยจากยาเคมีบำบัดจะไปกระตุ้นการตายของเซลล์ผ่านการทำงานของ p53 และ ไม่ผ่าน p53 ถ้าหากมีปริมาณ ferritin สูงขึ้น จะทำให้เกิดการติดต่อยาเคมีบำบัดกลุ่มนี้และใช้ยาไม่ได้ผลในคนไข้

ดังนั้นการลดการแสดงออกของ ferritin จึงอาจจะเป็นกลยุทธ์ในการเพิ่มความไวของเซลล์มะเร็งต่อยาเคมีบำบัดที่ออกฤทธิ์ผ่านการสร้างสารอนุมูลอิสระ โดยการแสดงออกของ ferritin ในเซลล์มะเร็งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในอนาคตควรที่จะมีการศึกษาถึงบทบาทของ ferritin ต่อกลไกกระตุ้นการเจริญเติบโตในเซลล์มะเร็งแต่ละชนิดอย่างจำเพาะเจาะจง ซึ่งอาจจะเป็นกลยุทธ์ใหม่ในการรักษามะเร็งต่อไปในอนาคต ในเซลล์มะเร็งแต่ละชนิดในความไวต่อยาเคมีบำบัดที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

1. Wang W, Knovich MA, Coffman LG, Torti FM, Torti SV. Serum ferritin: Past, present and future. *Biochim Biophys Acta*. 2010 Aug;1800(8):760-9.
2. Alkhateeb AA, Connor JR. The significance of ferritin in cancer: anti-oxidation, inflammation and tumorigenesis. *Biochim Biophys Acta*. 2013 Dec;1836(2):245-54.
3. Knovich MA, Storey JA, Coffman LG, Torti SV, Torti FM. Ferritin for the clinician. *Blood Rev*. 2009 May;23(3):95-104.
4. Andrews NC. Disorders of iron metabolism. *N Engl J Med*. 1999 Dec 23;341(26):1986-95.
5. Jain SK, Barrett KJ, Boyd D, Favreau MF, Crampton J, Drysdale JW. Ferritin H and L chains are derived from different multigene families. *J Biol Chem*. 1985 Sep 25;260(21):11762-8.
6. Cozzi A, Corsi B, Levi S, Santambrogio P, Albertini A, Arosio P. Overexpression of wild type and mutated human ferritin H-chain in HeLa cells: in vivo role of ferritin ferroxidase activity. *J Biol Chem*. 2000 Aug 18;275(33):25122-9.
7. Levi S, Yewdall SJ, Harrison PM, Santambrogio P, Cozzi A, Rovida E, et al. Evidence of H- and L-chains have co-operative roles in the iron-uptake mechanism of human ferritin. *Biochem J*. 1992 Dec 1;288 (Pt 2):591-6.
8. Levi S, Corsi B, Rovida E, Cozzi A, Santambrogio P, Albertini A, et al. Construction of a ferroxidase center in human ferritin L-chain. *J Biol Chem*. 1994 Dec 2;269(48):30334-9.
9. Alkhateeb AA, Han B, Connor JR. Ferritin stimulates breast cancer cells through an iron-independent mechanism and is localized within tumor-associated macrophages. *Breast Cancer Res Treat*. 2013 Feb;137(3):733-44.
10. Parthasarathy N, Torti SV, Torti FM. Ferritin binds to light chain of human H-kininogen and inhibits kallikrein-mediated bradykinin release. *Biochem J*. 2002 Jul 1;365(Pt 1):279-86.
11. Coffman LG, Parsonage D, D'Agostino R, Jr., Torti FM, Torti SV. Regulatory effects of ferritin on angiogenesis. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009 Jan 13;106(2):570-5.
12. Tesfay L, Huhn AJ, Hatcher H, Torti FM, Torti SV. Ferritin blocks inhibitory effects of two-chain high molecular weight kininogen (HKa) on adhesion and survival signaling in endothelial cells. *PLoS One*. 7(7):e40030.
13. Fargion S, Fracanzani AL, Brando B, Arosio P, Levi S, Fiorelli G. Specific binding sites for H-ferritin on human lymphocytes: modulation during cellular proliferation and potential implication in cell growth control. *Blood*. 1991 Aug 15;78(4):1056-61.
14. Gray CP, Arosio P, Hersey P. Association of increased levels of heavy-chain ferritin with increased CD4+ CD25+ regulatory T-cell levels in patients with melanoma. *Clin Cancer Res*. 2003 Jul;9(7):2551-9.

15. Lawson DM, Treffry A, Artymiuk PJ, Harrison PM, Yewdall SJ, Luzzago A, et al. Identification of the ferroxidase centre in ferritin. *FEBS Lett.* 1989 Aug 28;254(1-2):207-10.
16. Kalantar-Zadeh K, Rodriguez RA, Humphreys MH. Association between serum ferritin and measures of inflammation, nutrition and iron in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant.* 2004 Jan;19(1):141-9.
17. Beard JL, Murray-Kolb LE, Rosales FJ, Solomons NW, Angelilli ML. Interpretation of serum ferritin concentrations as indicators of total-body iron stores in survey populations: the role of biomarkers for the acute phase response. *Am J Clin Nutr.* 2006 Dec;84(6):1498-505.
18. Feelders RA, Vreugdenhil G, Eggermont AM, Kuiper-Kramer PA, van Eijk HG, Swaak AJ. Regulation of iron metabolism in the acute-phase response: interferon gamma and tumour necrosis factor alpha induce hypoferraemia, ferritin production and a decrease in circulating transferrin receptors in cancer patients. *Eur J Clin Invest.* 1998 Jul;28(7):520-7.
19. Allen KJ, Gurrin LC, Constantine CC, Osborne NJ, Delatycki MB, Nicoll AJ, et al. Iron-overload-related disease in HFE hereditary hemochromatosis. *N Engl J Med.* 2008 Jan 17;358(3):221-30.
20. Jezequel P, Campion L, Spyrtos F, Loussouarn D, Campone M, Guerin-Charbonnel C, et al. Validation of tumor-associated macrophage ferritin light chain as a prognostic biomarker in node-negative breast cancer tumors: A multicentric 2004 national PHRC study. *Int J Cancer.* 2012 Jul 15;131(2):426-37.
21. Hogemann-Savellano D, Bos E, Blondet C, Sato F, Abe T, Josephson L, et al. The transferrin receptor: a potential molecular imaging marker for human cancer. *Neoplasia.* 2003 Nov-Dec;5(6):495-506.
22. Hanahan D, Coussens LM. Accessories to the crime: functions of cells recruited to the tumor microenvironment. *Cancer Cell.* 2012 Mar 20;21(3):309-22.
23. Alkhateeb AA, Leitzel K, Ali SM, Campbell-Baird C, Evans M, Fuchs EM, et al. Elevation in inflammatory serum biomarkers predicts response to trastuzumab-containing therapy. *PLoS One.* 2012;7(12):e51379.
24. Ionescu JG, Novotny J, Stejskal V, Latsch A, Blau-rock-Busch E, Eisenmann-Klein M. Increased levels of transition metals in breast cancer tissue. *Neuro Endocrinol Lett.* 2006 Dec;27 Suppl 1:36-9.
25. Shpyleva SI, Tryndyak VP, Kovalchuk O, Starlard-Davenport A, Chekhun VF, Beland FA, et al. Role of ferritin alterations in human breast cancer cells. *Breast Cancer Res Treat.* 2011 Feb;126(1):63-71.
26. Milman N, Pedersen LM. The serum ferritin concentration is a significant prognostic indicator of survival in primary lung cancer. *Oncol Rep.* 2002 Jan-Feb;9(1):193-8.
27. Carpagnano GE, Lacedonia D, Palladino GP, Koutelou A, Martinelli D, Orlando S, et al. Could exhaled ferritin and SOD be used as markers for lung cancer and prognosis prediction purposes? *Eur J Clin Invest.* 2012 May;42(5):478-86.
28. Prutki M, Poljak-Blazi M, Jakopovic M, Tomas D, Stipancic I, Zarkovic N. Altered iron metabolism, transferrin receptor 1 and ferritin in patients with colon cancer. *Cancer Lett.* 2006 Jul 18;238(2):188-96.
29. Li F, Kishida T, Kobayashi M. Serum iron and ferritin levels in patients with colorectal cancer in relation to the size, site, and disease stage of cancer. *J Gastroenterol.* 1999 Apr;34(2):195-9.
30. Ali MA, Akhmedkhanov A, Zeleniuch-Jaquotte A, Toniolo P, Frenkel K, Huang X. Reliability of serum iron, ferritin, nitrite, and association with risk of renal cancer in women. *Cancer Detect Prev.* 2003;27(2):116-21.
31. Singh KJ, Singh SK, Suri A, Vijjan V, Goswami AK, Khullar M. Serum ferritin in renal cell carcinoma: effect of tumor size, volume grade, and stage. *Indian J Cancer.* 2005 Oct-Dec;42(4):197-200.
32. Kuvibidila SR, Gauthier T, Rayford W. Serum ferritin levels and transferrin saturation in men with prostate cancer. *J Natl Med Assoc.* 2004 May;96(5):641-9.
33. Richardson DR. Iron and neoplasia: serum transferrin receptor and ferritin in prostate cancer. *J Lab Clin Med.* 2004 Oct;144(4):173-5.

อาหารฟังก์ชันสำหรับนักกีฬา

Function Food for Athletes

ปวีณา จันดาชาติ¹, ฌณ์ภัทรวรรณ ธนาพงษ์อ่อน²

Paveena Jandachat¹, Napatsawan Thanaphonganan²

Received: 13 July 2014 ; Accepted: 31 October 2014

บทคัดย่อ

โภชนาการนับเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย รวมทั้งการฟื้นฟูสภาพร่างกายและหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บหลังจากออกกำลังกาย นักกีฬาตระหนักเกี่ยวกับการนำผลิตภัณฑ์เสริมอาหารซึ่งประกอบด้วยสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินและเกลือแร่ มาพัฒนาศักยภาพอย่างแพร่หลาย นักวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มาจากธรรมชาติมีคุณค่าต่อการเพิ่มประสิทธิภาพและป้องกันการบาดเจ็บของนักกีฬา นอกจากนี้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์พบว่ามีความสัมพันธ์กับการออกกำลังกายรวมทั้งมีผลต่อสรีรวิทยาของนักกีฬาเป็นอย่างยิ่ง บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับอาหารฟังก์ชันมีแหล่งที่มาจากรธรรมชาติสำหรับนักกีฬาและบุคคลทั่วไปในการส่งเสริมสุขภาพอีกทั้งกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่พบขณะออกกำลังกาย

คำสำคัญ : อาหารฟังก์ชัน ภาวะธำรงดุล สมรรถภาพ

Abstract

Appropriate nutrition is important for improving the efficiency of those who exercise. It helps adjust body temperature to an appropriate level, and it helps the body avoid injury and recover after exercising. Supplementary food containing carbohydrate, protein, vitamins, and minerals is widely recognized and used by athletes in several sports. Many researchers have found that components in natural food have an impact on physiology. Some researchers realize the value of supplementary food in enhancing the effectiveness of athletes. However, this food should be used only when there is clear scientific evidence regarding its effects on physiology and its relationship with exercise. This article will explain function food that has a positive effect on athletes and people who exercise. In addition the article addresses the physiology changes that occur while exercising.

Keywords: Function food, Homeostasis, Performance

¹ นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา, คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² อาจารย์, ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา, คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Graduate Students, Major of Exercise Science and Sport, Department of Health and Sport Science, Faculty of Education, Mahasarakham University E-mail: Dora-1211@hotmail.com

² Lecturer, Department of Health and Sport Science, Faculty of Education, Mahasarakham University

* Corresponding author : Paveena jandachat, House No.152, Village No.6, That sub-district, Warinchamrab district, Ubonratchathani province, 34190 E-mail: Dora-1211@hotmail.com

บทนำ

อาหารทุกชนิดมีการทำงานได้ระดับหนึ่งเพราะอาหารทุกอย่างมีรสชาติ กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการอาหารฟังก์ชันเป็นปัจจัยที่ทำให้หนักกีฬาและบุคคลทั่วไป มีคุณภาพชีวิตที่ดีมีหลายประการ โภชนาการเป็นหนึ่งในปัจจัยนั้นที่มีความจำเป็นต่อการเสริมประสิทธิภาพของร่างกาย การได้รับสารอาหารครบถ้วนและเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย โดยแหล่งที่มาของอาหารนั้นควรมาจากธรรมชาติและมีความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ออกกำลังกายและนักกีฬา ควรพิจารณาองค์ประกอบของอาหารที่ส่งผลต่ออิทธิพลทางสรีรวิทยา อาหารฟังก์ชันพบว่ามีความเหมาะสมและมีประโยชน์ต่อการปรับเปลี่ยนสรีรวิทยาในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา

อาหารฟังก์ชันคืออะไรจากการทบทวนวรรณกรรมได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ Functional food ดังต่อไปนี้ อาหารฟังก์ชันให้รสชาติ กลิ่นและคุณค่าทางโภชนาการ แต่อาหารเหล่านี้ได้มีการศึกษาอย่างละเอียดเพื่อเพิ่มประโยชน์ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงโรคเรื้อรัง หรือเพิ่มประสิทธิภาพด้านสุขภาพ สิ่งเหล่านี้เป็นความพยายามของการวิจัยที่ทำให้ทั่วโลกสนใจในตอนนี้และยอมรับว่าเป็น “อาหารสุขภาพ” ซึ่งเป็นแนวความคิดที่พัฒนาขึ้นครั้งแรกในญี่ปุ่น เมื่อปี1980 ต้องเผชิญกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้านการดูแลสุขภาพกระทรวงสาธารณสุขได้

มีการเริ่มให้ความรู้เกี่ยวกับอาหารบางอย่างโดยคาดว่าจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพประชากรผู้สูงอายุในประเทศ อาหารเหล่านี้ขณะนี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ซึ่งมีสิทธิ์ประทับตรา Foods for Specified Health (FOSHU) เมื่อเดือนกรกฎาคม 2002¹

ในสหรัฐอเมริกาไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับอาหารฟังก์ชัน อย่างไรก็ตามหลายองค์กรได้เสนอคำนิยาม สำหรับปี 1994 สถาบันวิทยาศาสตร์อาหารโภชนาการแห่งชาติแก้ไขอาหารหรือส่วนประกอบอาหารที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากแบบเดิม²

สถาบันวิทยาศาสตร์นานาชาติกล่าวว่าอาหารเป็นชีวิต นอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐานโดยอาศัยตัวของเราเป็นองค์ประกอบในการทำงานเพื่อเกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ³ ในปี 1999 สมาคมโภชนาการอเมริกันกล่าวว่าอาหารฟังก์ชันเป็นอาหารที่มีความสมบูรณ์ สำคัญกว่านั้นระบุว่า อาหารดังกล่าวจะต้องบริโภคเป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่หลากหลายบนพื้นฐานระดับปกติเพื่อเกิดประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพ⁴

อาหารฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง ดังแสดง Table1

Table1 System affected by nutritionally related disorders

Body system	Examples of disorders	Nutritional Factors
Gastrointestinal System	Microflora, gut function (gastric: Helicobacter pylori; colonic: chronic inflammatory bowel disease, neoplasia)	Prebiotics (+), Probiotics (+), Antibiotic factors (+/-), n-3 Fatty acids (+)
	Motility disorders	Caffeine (-), Polyphenolics (culinary herbs) (+), Ginger (+), Alcohol (-)
	Hepato-biliary, pancreatic	Growth factors (+/-)
Cardiovascular System	Blood pressure	n-3 Fatty acid sources (fish, plants) (+), Na (-), K, Mg, Ca (+)
	Lipids	Fatty fruits (olive, avocado, cocoa red plum) (+), Nuts (+), n-3 Fatty acids (+), Cholesterol (-), Phytosterols (+), Saturated and trans-fatty acids (-)
	Platelet function	n-3 Fatty acids (+), Salicylates (fruits) (+), Polyphenolics (plants) (+), Arginine (nuts) (+)

Table 1 System affected by nutritionally related disorders (cont.)

Body system	Examples of disorders	Nutritional Factors
Cardiovascular System	Endothelial function, Glycaemic status and its consequences, Cardiac rhythm Abdominal fatness	Low glycaemic index food (+), Polyphenolics (+), Alcohol (-), n-3 Fatty acids (+) Wholegrains, fruits, vegetables, (phytochemicals), dietary fibre (+)
Skin	Wrinkling (ageing), skin cancer (SCC)	Fatty acids (+), Tocotrienol (vit E) (+), Phytonutrients (fruit, tea) (+)
Immunohaematological System	Haemopoiesis Lymphoma and leukaemia	Micronutrients (+), EFA (+), Energy and protein deficiency(-), Maternal nutrition (+/-)
Endocrine System	Thyroid Insulin, pancreas	Iodine (+), Antithyroid factors (-) Energy balance (+/-), Food patterns (+/-), Intactness of foods (+)
Special senses	Olfactory Taste Auditory Vision: Retinal function (night blindness) macular function (maculopathy), lens health (cataract)	Myriad receptors for various food factors (+); link to memory Preferences, Polymorphisms, Threshold with are and food, Components (e.g. Na, caffeine) Sounds of eating, e.g. crunch, grind) (+) Vitamin A, carotenoids (+), Zinc (+), alcohol (-), Lutein, zeaxanthin, Antioxidant foods, Minimising UV damage
Mental health	Mood	Nutritional adequacy (+), Social role of food (+)

(+) favourable effects, (-) unfavourable

ที่มา: Choudhary and Tandon, (2009)⁵

อาหารฟังก์ชันสำหรับการออกกำลังกายที่มีผลต่อ
สรีรวิทยา มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และมีการนำมาใช้

เป็นอาหารเสริมในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา ตัวอย่าง
ดังแสดง Table 2

Table 2 Exercise and functional foods.

Physiological functions	A	B	C
Replenishment of water	Isotonic drinks	Hypotonic drinks Glycerol	
Improvement of endurance	High-carbohydrate Citric acid	Arginine Caffeine Carnitine	Capsaicine

Table 2 Exercise and functional foods. (cont.)

Physiological functions	A	B	C
Enhancement of muscle strength	Protein BCAA Creatine β-HMB	Glutamine	Arginine
Prevention of muscle/joint injuries or fatigue	High-carbohydrate Citric acid	Vitamins C and E Carotenoids, Flavonoids Carnosine, Anserine	Glucosamine Chondroitin
Prevention of a decrease in immunocompetence	Carbohydrate	Vitamins C and E Glutamine	

A: The factors in this group has been shown adequate scientific evidence.

B: The factors in this group has been shown suggestive evidence.

C: The factors in this group has been shown no evidence while possible to effective.

ที่มา: Choudhary and Tandon, (2009)⁵

ประสิทธิผลของอาหารฟังก์ชันกับความทนทาน
 ความทนทานกล้ามเนื้อ หมายถึง ความสามารถในการหดตัวซ้ำๆ หรือนานๆ ต้านความเมื่อยล้า ขึ้นกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พลังงานงานที่สะสมในกล้ามเนื้อ และจำนวนหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ ฉะนั้นการบริโภคสารอาหารระหว่างการออกกำลังกายส่วนใหญ่นิยมใช้คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มความสามารถของความทนทานในการควบคุมการเผาผลาญสารอาหารโดยเฉพาะเพิ่มประสิทธิภาพไกลโคเจนจะถูกนำมาใช้ในการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความทนทานสารตั้งต้นที่ใช้พลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อนี้จะทำให้ออกกำลังกายได้ส่งผลให้ความสามารถในการออกกำลังกายลดระดับลง วิธีเพิ่มประสิทธิภาพของความทนทานคือ การเพิ่มไกลโคเจนในโครงร่างกล้ามเนื้อและตับอ่อน เมื่อกำลังกล้ามเนื้อมีระดับไกลโคเจนลดลงปกติการสังเคราะห์สารทดแทนชั่วคราว โดยมีกระบวนการสะสมไกลโคเจนจากคาร์โบไฮเดรต เช่น ไกลโคเจนสามารถเพิ่มได้โดยการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำเป็นเวลา 3 วันนับจากวันที่ 6 ก่อนที่จะมีการแข่งขันแล้วตามด้วยอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงสำหรับ 3 วันถัดไป มีการสะสมไกลโคเจนถึง 1.5 เท่า ซึ่งมากกว่าปกติ แคลเทรตซึ่งยับยั้งการสลายน้ำตาลกลูโคสในร่างกายมาพร้อมกับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ไกลโคเจนจึงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการยับยั้งการสลายน้ำตาลกลูโคสในร่างกาย นอกจากนี้ที่สำคัญนักกีฬาจะสะสมไกลโคเจนก่อนแข่ง เพื่อให้พลังงานเพียงพอสำหรับการฝึกซ้อมหรือแข่งขันต่อไป การสะสมของไกลโคเจนที่รวดเร็วได้

จากอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจะทำให้หนักกีฬามีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการสะสมอย่างรวดเร็วของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตชนิดเดียว การออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานาน เช่น การวิ่งมาราธอน การรับประทานคาร์โบไฮเดรตทันที ก่อนหรือระหว่างการออกกำลังกายทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของความทนทานภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว นักกีฬาคควรได้รับคาร์โบไฮเดรต ชนิดน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เพราะน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้โดยตรง ในทางกลับกันการรับประทานคาร์โบไฮเดรตช่วยในการสลายไขมันซึ่งเป็นอีกหนึ่งพลังงานที่กระตุ้นการหลั่งอินซูลินทำให้เกิดความบกพร่องในการสะสมพลังงานของไขมัน การเผาผลาญและเร่งไกลโคไลซิสเป็นพลังงานทดแทนเป็นผลให้ปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและค่า pH ลดลง กรดแลคติกมากจะทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อผิดปกติ ดังนั้น เป็นสิ่งจำเป็นที่ควรได้รับคาร์โบไฮเดรตทำให้ช่วยลดการเผาผลาญไขมัน จากการศึกษาอาหารเสริมประกอบด้วยฟรุกโทส ซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้นอินซูลินน้อยกว่าและมีแนวโน้มที่จะลดการหลั่งลิโปไลซิสแทนที่มากกว่าคาร์โบไฮเดรตที่พบเช่น กลูโคส และซูโครส ส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงความทนทานนอกจากนี้ปริมาณของสารอาหารสามารถเพิ่มการใช้พลังงานจากไขมันผ่านการลดของไกลโคไลซิสจะสำรองไกลโคเจนและลดการผลิตของกรดแลคติก ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวช้า กรดอะมิโนได้รับการยอมรับว่าช่วยในการควบคุมฮอร์โมนระดับน้ำตาลในเลือด โดย

ลดการเผาผลาญไขมันและเพิ่มระยะเวลาระหว่างการออกกำลังกาย ดังนั้นการบริโภคทั้งซีเตรดและอาร์จินีน พร้อมกับคาร์โบไฮเดรตที่ทำให้เกิดการกระตุ้นของอินซูลินเล็กน้อย การหลังฮอร์โมนนี้ก่อนหรือในระหว่างการออกกำลังกายอาจเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาผลาญพลังงานและแหล่งพลังงานที่เหมาะสม จากการออกกำลังกายหากมีการเปลี่ยนการใช้พลังงานส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลที่ใช้ในการให้พลังงานของไขมันอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความทนทานโดยการสะสมไกลโคเจนและลดความเป็นกรดในกล้ามเนื้อซึ่งเกิดแลคเตตขึ้นในระหว่างการออกกำลังกาย จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจัยต่างๆที่สามารถกระตุ้นการเผาผลาญไขมัน ถึงแม้จะมีหลักฐานไม่เพียงพอเกี่ยวกับประสิทธิภาพของ คาร์นิทีนซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการขนส่งกรดไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ในไมโทคอนเดรียและส่งเสริมเบต้า-ออกซิเดชัน ของกรดไขมัน อาหารเสริมที่มี คาร์นิทีนทำให้เกิดการเผาผลาญอาหาร ไขมัน ในโครงสร้างกล้ามเนื้อและยังมีการสะสมไกลโคเจน ในคนที่ออกกำลังกายแบบแอโรบิก การบริโภคคาร์นิทีน 2-4 กรัม ก่อนออกกำลังกาย หรือในชีวิตประจำวันพบว่า จะเพิ่มการใช้ออกซิเจนสูงสุดและลดการสะสมของกรดแลคติกหลังการออกกำลังกาย นอกจากนี้พบว่าคาเฟอีนมีผลต่อความทนทาน ซึ่งพบได้ใน น้ำอัดลม ชาดำ ชาเขียว กาแฟ เป็นต้น การศึกษาระบุว่าคาเฟอีนลดการปล่อยฮอร์โมนและเอนไซม์ไลเปสที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระและการเปลี่ยนแปลงความทนทาน⁸ อีกทั้งคาเฟอีนได้จากพริกแดงจะเพิ่มการเผาผลาญไขมันโดยการเปลี่ยนแปลงความสมดุลของฮอร์โมนลิโปไลติกและช่วยเพิ่มการออกซิเดชันในไขมันและกล้ามเนื้อ จากที่กล่าวมาเบื้องต้นอาหารฟังก์ชันที่มีแหล่งที่มาจากรธรรมชาติสามารถรับประทานร่วมกับอาหารปกติ ในชีวิตประจำวันทำให้มีประโยชน์ต่อการทำงานของร่างกาย ซึ่งเป็นแบบจำเพาะต่ออวัยวะใดอวัยวะหนึ่ง จากการศึกษาค้นคว้าได้ชี้แนะถึงการบริโภคอาหารจากใยอาหารอย่างหลากหลายช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ โดยความเป็นจริงผักแต่ละชนิดมีสารอาหารมากมาย รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ สารพฤกษเคมี (Phytochemical) ซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพ⁹

การถูกรบกวนทางสรีรวิทยา การขาดน้ำส่งผลกระทบต่อระบบสรีรวิทยาในร่างกาย¹⁰ ของแต่ละระบบที่สำคัญของร่างกาย เมื่อเริ่มต้นการออกกำลังกายในอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิร่างกาย ในร่างกายพยายามที่จะลดอุณหภูมิของร่างกายที่เพิ่มขึ้นด้วยการถ่ายเทความร้อนความร้อนด้วยวิธีการนำ การพารังสี และมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการระเหย¹¹ การถ่ายเทความร้อนด้วยกระบวนการระเหย

ของเหงื่อเป็นวิธีการที่มีศักยภาพมากที่สุดของการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการออกกำลังกาย การลดอุณหภูมิร่างกาย 98 เปอร์เซ็นต์ ใช้กระบวนการระเหย¹¹ ถ้าน้ำไม่เพียงพอต่อการบริโภคเพื่อทดแทนสิ่งที่สูญเสียไปหลังจากการทำงานอย่างหนัก การคายน้ำที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิกสามารถเปลี่ยนแปลงในระดับต้นของการไหลเวียนเลือด¹¹ การออกกำลังกายใช้ความทนทานของกล้ามเนื้อที่มีการเพิ่มขึ้นของการไหลของเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่ใช้งานและลดน้อยลงในส่วนของกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ออกกำลังกายการคายน้ำเป็นสิ่งที่เกิดสำหรับการไหลเวียนเลือดระหว่างการใช้งานในการเผาผลาญกล้ามเนื้อและผิวหนังที่ต้องการ การถ่ายเทความร้อน¹¹ เนื่องจากการไหลเวียนของเลือดลดลงทำให้ผิวหนังควบคุมอุณหภูมิร่างกายที่เพิ่มมากขึ้นในระหว่างออกกำลังกายที่ใช้ความทนทานในความร้อนที่อุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้น 0.2 องศาเซลเซียส นำหนักตัวหายไป 1 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับลดอุณหภูมิเพื่อควบคุมการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจและลดจังหวะการเต้นของหัวใจพร้อมกับสามารถควบคุมการลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โรคหลอดเลือดสมองและหัวใจ¹²⁻¹³ จากการศึกษาพบว่าปริมาณของการคายน้ำเกิดระหว่าง 1-4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจและลดจังหวะการเต้นหัวใจจากการตั้งข้อสังเกต¹⁴ ในลักษณะเดียวกันได้พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นหัวใจประมาณ 10 ครั้งต่อนาที ด้วยวิธีการปั่นจักรยาน 90 นาที¹⁵ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำทำให้ทราบถึงการเพิ่มอัตราการรับรู้ของการออกแรงเป็นการทำให้การทำงานของจิตสูญเสีย¹² แรงจูงใจในการออกกำลังกายและความทนทานซึ่งเป็นที่ต้องการของนักกีฬา การคายน้ำทำให้แรงจูงใจ อ่อนเพลีย ขณะออกกำลังกาย

ผลกระทบของการขาดน้ำ การออกกำลังกายที่ใช้ความทนทาน จากการศึกษาพบว่า การกระตุ้นที่เกิดจากการสูญเสียน้ำของร่างกายในระดับหนึ่ง การคายน้ำขณะก่อนออกกำลังกายหรือขณะออกกำลังกาย¹⁶ จากการศึกษาพบว่า สิ่งที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการดำเนินการที่ชัดเจน จากการทบทวนวรรณกรรม การขาดน้ำจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการออกกำลังกายและความทนทาน การขาดน้ำส่งผลให้ทำลายการควบคุมอุณหภูมิร่างกาย ความสามารถในการฝึกและการเล่นกีฬา¹⁷ เมื่อปริมาณน้ำในร่างกายลดลงส่งผลให้ระบบไหลเวียนเลือดเกิดความเครียด สังเกตได้จากอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มมากขึ้นและจังหวะการเต้นของหัวใจลดลง¹⁶ ขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะแวดล้อมที่ร้อนชื้นทำให้เกิดการคายน้ำ 2 เปอร์เซ็นต์ ต่อมวลร่างกาย ทำให้การ

ออกกำลังกายแบบแอโรบิคมีประสิทธิภาพน้อยลง¹⁸จากการศึกษาเกี่ยวกับการปั่นจักรยานใช้ความทนทาน แสดงให้เห็นว่าการขาดน้ำทำให้ความสามารถในการรักษาการออกแรงสูงสุดลดลงในระหว่างปั่นจักรยาน ในการศึกษาทำโดยทำการทดลองที่ 90 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด นานที่สุดเท่าที่พวกเขาจะทำได้ หลังจากนาฬิกาที่ 60 ความหนักที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ได้ตั้งข้อสังเกตว่าการลดลง 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ก่อนที่จะมีการเริ่มต้นการออกกำลังกายระยะเวลาในการทำงานสูงสุดความเข้มข้นประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มไฮเดรต¹⁹ นอกจากนี้ได้ค้นพบการขาดแคลนน้ำ 2-4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญลดประสิทธิภาพการออกกำลังกาย เนื่องจากการลดลงอย่างมีนัยสำคัญในการดูดซึมออกซิเจนสูงสุดในสภาพอากาศที่ร้อน²⁰จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าการขาดน้ำทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบไหลเวียนเลือด ทำให้อุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้นอัตราการเต้นของหัวใจและความสามารถรับรู้ในการออกกำลังกาย

คาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ น้ำเพื่อการออกกำลังกายแบบแอโรบิค น้ำเปล่าไม่เหมาะในการบริโภคก่อนระหว่างและหลังการออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องดื่มที่ให้ความชุ่มชื้น ในขณะที่ออกกำลังกายแบบแอโรบิค¹⁶ เมื่อออกกำลังกายเป็นระยะเวลาในสภาพอากาศที่ร้อนมากทำให้เกิดการสูญเสียเหงื่อได้มากถึง 2-4 ลิตรต่อชั่วโมง สูญเสียเกลือไป 10-14 กรัม การออกกำลังกายที่ใช้ความทนทานช่วยฟื้นฟูความสมดุลของของเหลวที่จำเป็นทันทีหากการสูญเสียเหงื่อถูกแทนที่ด้วยน้ำเปล่า การเจือจางของพลาสมาส่งผลให้โซเดียมในพลาสมาต่ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการทดแทนเกลือที่สูญหายหายไปกับเหงื่อควรเพิ่มโซเดียมในเครื่องดื่มเพื่อทดแทน โซเดียมที่ได้มาจากเครื่องดื่มยังช่วยในการขนส่งน้ำตาลกลูโคสและน้ำในผนังลำไส้ นอกจากนี้น้ำตาลกลูโคสในเครื่องดื่มช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือดและประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ จากการศึกษาการบริโภคเครื่องดื่มที่มีอิเล็กโทรไลต์ทำให้การขับน้ำปัสสาวะสูงส่งผลให้ของเหลวดูดซึมน้อยและเป็นที่ยอมรับว่าปริมาณสารน้ำที่สามารถรักษาประสิทธิภาพได้มากขึ้น เมื่ออิเล็กโทรไลต์ถูกรวมตัวในของเหลวและความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาที่เกิดขึ้น

การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ สดส่วนกับพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อที่จะเสริมสร้างความแข็งแรงเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อส่วนประกอบของโปรตีน ได้แก่ แอคติน ไมโอซิน และน้ำ สิ่งสำคัญในการเพิ่มปริมาณโปรตีนโดยการเผาผลาญโปรตีนเมื่อเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงสามารถเพิ่มขึ้นด้วยการสังเคราะห์โปรตีน

หรือลดการย่อยโปรตีน ดังนั้นการออกกำลังกายด้วยแรงต้านช่วยทำให้การสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อและเลือด ระดับของกรดอะมิโนต่างๆที่มีพื้นผิวสำหรับสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อดังนั้นจึงความจำเป็นในการรักษาความของระดับไนโตรเจนของร่างกายสมดุลของไนโตรเจนเชิงบวกโดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากอาหาร การทบทวนวรรณกรรมพบว่านักกีฬาต้องการโปรตีนสูงกว่าบุคคลทั่วไป โปรตีนที่ต้องการในแต่ละวันปริมาณ 1.4-1.8 กรัม กลูตามีนช่วยสนับสนุนการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อซึ่งได้มาจากเวย์โปรตีนในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการได้รับโปรตีนมีความสำคัญต่อการสร้างประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อขึ้นกับระยะเวลาในการรับประทาน²¹ โดยหลังจากการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านควรได้รับโปรตีนหลังจากฝึกซ้อมทันทีไม่ควรทิ้งช่วงระยะเวลารวมทั้งต้องได้รับคาร์โบไฮเดรตอย่างเพียงพอ²² ซึ่งสามารถช่วยให้สารสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อและการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินในระดับดีขึ้น นอกจากนี้ร่างกายสามารถดูดซึมกรดอะมิโนและเพปไทด์ไปใช้ได้ทันที กรดอะมิโนไม่เพียงสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อยังสำคัญต่อสรีรวิทยาระดับโมเลกุล การเผาผลาญพลังงานขณะออกกำลังกายพบว่าการสลายของโปรตีนจำเป็นต้องได้รับ การสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดจำเป็นได้แก่ ลิวซีน ไอโซลิวซีน และวาเลีน การออกกำลังกายโดยการกระตุ้นการทำงานของ α -keto dehydrogenase (BCKDH) ที่ซับซ้อน²³ นอกจาก BCAAs ปรับการเผาผลาญโปรตีนในกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มการสังเคราะห์และลดการย่อยสลายของโปรตีน²⁴ ส่งผลให้แอนนาโบลิกเกี่ยวกับกล้ามเนื้อและยังพบว่ากลูตามีนยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อโดยการยับยั้งการย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนที่มีมากที่สุดเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อและการบริโภคที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของเซลล์กล้ามเนื้อในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อกลูตามีนพบที่ระดับความเข้มข้นค่อนข้างสูงในหลายเนื้อเยื่อของคนอื่นๆและมีบทบาทสำคัญในภาวะช้ำรังดูในการสลายเพื่อให้มีขนาดเล็กลง เช่น การออกกำลังกายกลูตามีนถูกปล่อยออกจากกล้ามเนื้อ พลาสมาที่จะใช้สำหรับการรักษา ระดับ กลูตามีนในเนื้อเยื่ออื่นๆ อาร์จินีนเป็นสารตั้งต้นของไนตริกออกไซด์และครีเอทีนทำให้เพิ่มการหลั่งของฮอร์โมนการเจริญเติบโตซึ่งมีผลทำให้ขนาดของมัดกล้ามเนื้อใหญ่และแข็งแรงขึ้น การได้รับอาร์จินีนทางช่องปากยังไม่ชัดเจนจากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าการบริโภคอาร์จินีนที่มีสารอื่นๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการออกกำลังกาย^{25,26,27} ส่วนประกอบต่างๆของคน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลที่ทำให้เกิดความแข็งแรงกล้ามเนื้อ วิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษามากกว่าทศวรรษการสนับสนุนการใช้อาหารฟังก์ชันครีเอทีนและ

β -hydroxy- β -methylbutyrate (β HMB) เพื่อเพิ่มมวลของร่างกายและความแข็งแรงเมื่อมีการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน²⁸ในร่างกายมีครีเอทีนมากกว่า100 กรัมเกือบทั้งหมดถูกเก็บไว้ในกล้ามเนื้อเป็นครีเอทีนฟอสเฟส ถูกใช้ในการผลิตATPโดยการย่อยสลายของครีเอทีนภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีการสะสมของครีเอทีน ยังช่วยกระตุ้นการกักเก็บน้ำและสังเคราะห์โปรตีนได้ค้นพบว่าการบริโภคครีเอทีน 3 กรัมต่อวัน ครีเอทีนและฟอสเฟสมีการเปลี่ยนแปลงความทนทานโดยเฉพาะขณะที่มีการทำกิจกรรมที่ใช้พลังงานสูงรวมทั้งการเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในระหว่างการฝึกแบบใช้แรงต้าน²⁹นอกจากนี้ได้พบว่าปริมาณของครีเอทีนทำให้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในระหว่างการฝึกแบบใช้แรงต้าน β HMB เป็นเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนลิวซีนและจะทำให้เพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและลดการย่อยสลายของโปรตีนต่อการเผาผลาญของกรดอะมิโน^{30,31}ได้พบว่าการบริโภค β HMB 1.5-3.0กรัมต่อวันระยะเวลา 3-8 สัปดาห์ทำให้ขนาดของมวลกล้ามเนื้อใหญ่ขึ้นและมีพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับยาหลอก^{32,33}

การป้องกันการบาดเจ็บและความเมื่อยล้า ผู้ที่ไม่เคยออกกำลังกายและผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำที่ใช้พลังงานจำนวนมากอาจจะทำให้เกิดความล้าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บขึ้นหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก การบาดเจ็บที่เกิดจากการอักเสบจากการแทรกซึมของ Phagocyte โดยเรียกว่าความเครียดเชิงกล³⁴แคลเซียมไอออนภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน³⁵ และความเครียดออกซิเดชัน³⁶มีการค้นพบว่าในอาหารฟังก์ชันลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของออกซิเดชันที่สะสมในกล้ามเนื้อและเลือดซึ่งควบคู่กับตัวแปรอื่นๆ ที่มีช่วยลดสาเหตุการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและการบาดเจ็บเฉียบพลัน หลังการออกกำลังกายออกซิเดชันสามารถป้องกันได้โดยการรับประทานสารต้านอนุมูลอิสระเช่นวิตามิน C,E หรือโพลีฟีนอยด์ ไม่เพียงแต่ระหว่างการออกกำลังกายแต่ยังสามารถใช้อาหารฟังก์ชันในชีวิตประจำวันได้^{36,37,38,39,40,41} ในทางตรงกันข้ามจากการศึกษาพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระจะไม่ส่งผลกระทบต่อการบาดเจ็บกล้ามเนื้อและตอบสนองการอักเสบที่เกิดจากการออกกำลังกาย^{42,43}หนึ่งเหตุผลที่เป็นไปได้เกี่ยวกับผลลัพธ์ที่แตกต่างคือ ผลกระทบของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มที่มีความแตกต่างของความหนักในการออกกำลังกาย เช่น ความเครียดและปฏิกิริยาออกซิเดชัน(ROS) อาจเกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ปฏิกิริยาของ

ออกซิเจนถูกสร้างขึ้นจากไมโทคอนเดรียและเยื่อในระหว่างการออกกำลังกายโดยการใช้ออกซิเจนของ myocytes และขั้นตอนการขาดเลือดซึ่งนำไปสู่การถูกรุกรานของฟาโกไซโทซิสเข้าสู่กล้ามเนื้อหลังจากการออกกำลังกายผ่านทางน้ำทำให้เกิดการอักเสบที่ปฏิกิริยาความไว ดังนั้นการตอบสนองการอักเสบยับยั้งปฏิกิริยาของออกซิเจนระหว่างการออกกำลังกายลดลงมากทำให้มีโอกาสบาดเจ็บของกล้ามเนื้อมากยิ่งขึ้นเช่นการออกกำลังกายช่วยให้เกิดภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ยังดีกว่าการรับประทานสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากเพราะจะมีผลต่อวัยต่างๆ กลูโคซามีนและคอนดรอยตินเป็นสารที่ช่วยป้องกันข้อต่อ กลูโคซามีนมีกรดอะมิโนสังเคราะห์ในร่างกายที่เป็นส่วนประกอบของน้ำไขข้อ เส้นเอ็น และเอ็นในข้อต่อ คอนดรอยตินที่มีบทบาทสำคัญเป็นโช้คอัพเนื่องจากการดูดความชื้นของการบริโภคทางช่องปากเสริมสารอาหารเหล่านี้เป็นข้อเสนอแนะที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันหรือช่วยในการฟื้นฟูจากโรคข้อเข่าเสื่อมที่มีสาเหตุมาจากการออกกำลังกายเล่นกีฬาและจำนวนอายุที่เพิ่มมากขึ้น⁴⁴ในขณะที่ผลของการออกกำลังกายเสริมไม่เป็นที่แน่ชัด มีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้า อาการที่เกิดจากการออกกำลังกายเช่นการสะสมของไกลโคเจนและกรดแลคติกในร่างกายระหว่างการออกกำลังกายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเส้นประสาทก่อนการออกกำลังกายดังกล่าว การฟื้นตัวของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจากการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตสูงมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้ปัจจัยที่มีผลยังอยู่ในไกลโคไลซิสเช่น ซีเตรตและพิจารณาระยะเวลาของการบริโภคคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้การสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อเกี่ยวข้องกับการลดลงของค่าความเป็นกรดในกล้ามเนื้อซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความล้า ดังนั้นอาหารเสริมช่วยควบคุมการผลิตแลคเตทที่มีประสิทธิภาพ ไดเพปไทด์ที่มีมากในกล้ามเนื้อลาย carnosine และ anserine มีค่า pH บัฟเฟอร์เสริมไดเพปไทด์เหล่านี้อาจเป็นไปได้ในการยับยั้งการลดลงของค่าความเป็นกรดโดยการออกกำลังกายผ่านขบวนการของบัฟเฟอร์ไดเพปไทด์เหล่านี้^{44,45,46}

สรุป

ภาพรวมของอาหารฟังก์ชันพบว่ามีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมบริโภคอาหารของประชาชนทุกเพศทุกวัย ที่ให้ความสำคัญในด้านสุขภาพและมีความคาดหวังที่ซับซ้อนและหลากหลายของอาหาร ในปีที่ผ่านมาปัจจัยอาหารต่างๆที่ตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้รับการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์เพื่อศึกษาว่ามีผลกระทบต่อสรีรวิทยาได้บ้างเช่น

ประสิทธิภาพของอาหารฟังก์ชันกับความทนทาน การถูกรบกวนทางสรีระวิทยา ผลกระทบของการขาดน้ำ คาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ น้ำเพื่อการออกกำลังกายแบบแอโรบิค การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการป้องกันการบาดเจ็บและความเมื่อยล้า ความหลากหลายการทำงานของอาหารที่มีอยู่ในแต่ละหมู่ของอาหาร ทำหน้าที่เกี่ยวข้องอย่างไรบ้าง มีบางส่วนไม่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพใดและส่วนอื่นๆที่มีการกล่าวถึง การเรียกร้องที่ไม่เหมาะสมและโฆษณาเพื่อให้ผู้บริโภคเข้าใจผิด บางส่วนของอาหารที่อธิบายไว้ในบทความนี้ควรมีการศึกษาต่อไปเพราะความแตกต่างของแต่ละมุมมองที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพที่พบ ความแตกต่าง นอกจากนี้ประสิทธิภาพต่างๆขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ และขนาดร่างกายและรูปแบบการบริโภคเพื่อให้เหมาะสมต่อปริมาณที่ร่างกายต้องการเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และระยะเวลาในการบริโภคจะต้องมีการกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้และผลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาในขณะที่ออกกำลังกาย เล่นกีฬาหรือการใช้ชีวิตประจำวัน

เอกสารอ้างอิง

- Arai, S. Studies on functional foods in Japan—state of the art. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1996. 60: 9–15.
- Committee on Opportunities in the Nutrition and Food Sciences, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine Enhancing the food supply. In: *Opportunities in the Nutrition and Food Sciences: Research Challenges and the Next Generation of Investigators* (Thomas, P. R. & Earl, R., eds.), 1994. pp. 98–142.
- International Life Sciences Institute Safety assessment and potential health benefits of food components based on selected scientific criteria. *ILSI North America Technical Committee on Food Components for Health Promotion. Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1999. 39: 203–316.
- American Dietetic Association Position of the American Dietetic Association: functional foods. *J. Am. Diet. Assoc.* 1999. 99: 1278–1285.
- Choudhary Raghuvver and Tandon RV, consumption of functional food and health concerns. *Pak J Physiol*, 2009. 5(1)
- รัตนวดี ฅ นคร. สรีระวิทยาของการออกกำลังกาย [ออนไลน์], แหล่งที่มา [www. med.md.kku.ac.th/site_data/mykku_med/.../Exercise_physiology.pdf](http://www.med.md.kku.ac.th/site_data/mykku_med/.../Exercise_physiology.pdf)
- Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB: Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *App Physiol* 2002, 93: 1337-1344.
- Brass EP: Supplemental carnitine and exercise. *Am J Clin Nutr* 2000, 72: 618S-623S.
- Ryu S, Choi SK, Joung SS, Suh H, Cha YS, Lee S, Lim K: Caffeine as a lipolytic food component increases endurance performance in rats and athletes. *J Nutr Sci Vitaminol* 2001, 47: 139-146.
- Murray, R., Fluid needs in hot and cold environments. *Int J Sports Med*, 1995. 5(S62-S73).
- Gisolfi, C.V., D.R. Lamb, and E.R. Nadel, Temperature regulation during exercise: An overview, in *Perspectives in Exercise Science and Sports medicine :Exercise, heat and thermoregulation*, J. Werner, Editor. 1993, Brown and Benchmark: Dubuque.
- Montain, S.J. and E.F. Coyle, Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol*, 1992. 73: p. 1340-1350.
- Gonzalez-Alonso, J., et al., Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol*, 1997. 82: p. 1229-1236.
- Montain, S.J. and E.F. Coyle, Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1992. 73: p.1340-1350.
- Sanders, B., T.D. Noakes, and S.C. Dennis, Water and electrolyte shifts with partial fluid replacement during exercise. *Eur J Appl Physiol*, 1999. 80: p. 318-323.
- Shirreffs, S.M., L.E. Armstrong, and N. Samuel, Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of sports sciences*, 2004. 22: p. 57-63.

17. Horswill, C.A., Effective fluid replacement. *Int J Sport Nutr*, 1998. 8(2): p. 175-95.
18. Below, P.R. and R. Mora-Rodriguez, Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 hour of intense exercise. *Med Sci Sports Ex*, 1995.27(2): p. 200-210.
19. Walsh, R.M., et al., Impaired high intensity cycling performance time at low levels dehydration. *Int J Sport Med*, 1994. 15: p. 392-398.
20. Sawka, M.N. and K.B. Pandolf, Effects of body water loss on physiological function and exercise performance, in *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine: Fluid Homeostasis during exercise*, C.V. Gisolfi and D.R. Lamb, Editors. 1990: United States of America.
21. Phillips SM: Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition* 2004, 20: 689-695.
22. Tarnopolsky MA: Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition* 2004, 20: 662-668.
23. Ha E, Zemel MB: Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people (review). *J Nutr Biochem* 2003, 14: 251-258.
24. Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M, Kjaer M: Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 2001, 535: 301-311.
25. Flakoll PJ, Judy T, Flinn K, Carr C, Flinn S: Postexercise protein supplementation improves health and muscle soreness during basic military training in Marine recruits. *J Appl Physiol* 2004, 96: 951-956.
26. Borsheim E, Aarsland A, Wolfe RR: Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004, 14: 255-271.
27. Shimomura Y, Murakami T, Nakai N, Nagasaki M, Harris RA: Exercise promotes BCAA catabolism: effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. *J Nutr* 2004, 134: 1583S-1587S.
28. Castell LM: Glutamine supplementation in vitro and in vivo, in exercise and in immunodepression. *Sports Med* 2003, 33: 323-345.
29. Paddon-Jones D, Borsheim E, Wolfe RR: Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J Nutr* 2004, 134: 2888S-2894S.
30. Flakoll P, Sharp R, Baier S, Levenhagen D, Carr C, Nissen S: Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate, arginine, and lysine supplementation on strength, functionality, body composition, and protein metabolism in elderly women. *Nutrition* 2004, 20: 445-451.
31. Terjung RL, Clarkson P, Eichner ER, Greenhaff PL, Hespel PJ, Israel RG, Kraemer WJ, Meyer RA, Spriet LL, Tarnopolsky MA, Wagenmakers AJ, Williams MH: American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2000, 32: 706-717.
32. Alon T, Bagchi D, Preuss HG: Supplementing with beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) to build and maintain muscle mass: a review. *Res Commun Mol Pathol Pharmacol* 2002, 111: 139-151.
33. Slater GJ, Jenkins D: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation and the promotion of muscle growth and strength. *Sport Med* 2000, 30: 105-116.
34. Gallagher PM, Carrithers JA, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, Part 1: effects on strength and fat free mass. *Med Sci Sport Exerc* 2000, 32: 2109-2115.
35. Panton LB, Rathmacher JA, Baier S, Nissen S: Nutritional supplementation of the leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) during resistance training. *Nutrition* 2000, 16: 734-739.
36. Proske U, Morgan DL: Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 2001, 537: 333-345.
37. Aoi W, Naito Y, Takanami Y, Kawai Y, Sakuma K, Ichikawa H, Yoshida N, Yoshikawa T: Oxidative stress and delayed-onset muscle damage after exercise. *Free Radic Biol Med* 2004, 37: 480-487.
38. Phillips T, Childs AC, Dreon DM, Phinney S, Leuwenburgh C: A dietary supplement attenuates IL-6

- and CRP after eccentric exercise in untrained males. *Med Sci Sports Exerc* 2003, 35: 2032-2037.
39. Aoi W, Naito Y, Sakuma K, Kuchide M, Tokuda H, Maoka T, Toyokuni S, Oka S, Yasuhara M, Yoshikawa T: Astaxanthin limits exercise-induced skeletal and cardiac muscle damage in mice. *Antioxid Redox Signal* 2003, 5: 139-144.
40. Marquez R, Santangelo G, Sastre J, Goldschmidt P, Luyckx J, Pallardo FV, Vina J: Cyanoside chloride and chromocarbe diethylamine are more effective than vitamin C against exercise-induced oxidative stress. *Pharmacol Toxicol* 2001, 89: 255-258.
41. Kato Y, Miyake Y, Yamamoto K, Shimomura Y, Ochi H, Mori Y, Osawa T: Preparation of a monoclonal antibody to N(epsilon)-(hexanonyl)lysine: application to the evaluation of protective effects of flavonoid supplementation against exercise-induced oxidative stress in rat skeletal muscle. *Biochem Biophys Res Commun* 2000, 274: 389-393.
42. Petersen EW, Osrowski K, Ibfelt T, Richelle M, Offord E, Halkjaer-Kristensen J, Pedersen BK: Effect of vitamin E supplementation on cytokine response and on muscle damage after strenuous exercise. *Am J Physiol Cell Physiol* 2001, 280: C1570-C1575.
43. Beaton LJ, Allan DA, Tarnopolsky MA, Tiidus PM, Phillips SM: Contraction-induced muscle damage is unaffected by vitamin E supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2002, 34: 798-805.
44. Beren J, Hill SL, Diener-West M, Rose NR: Effect of pre-loading oral glucosamine HCl/chondroitin sulfate/manganese ascorbate combination on experimental arthritis in rats. *Exp Biol Med (Maywood)* 2001, 226: 144-151.
45. Suzuki Y, Nakao T, Maemura H, Sato M, Kamahara K, Morimatsu F, Takamatsu K: Carnosine and anserine ingestion enhances contribution of nonbicarbonate buffering. *Med Sci Sports Exerc* 2006, 38: 334-338.
46. Harada R, Taguchi H, Urashima K, Sato M, Omori T, Morimatsu F: Effects of a chicken extract on endurance swimming in mice. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 2002, 55: 73-78.

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการเปรียบเทียบพหุคูณในงานวิจัยทางสาธารณสุข กรณีตัวอย่างการป้องกันโรคไข้เลือดออก

One-Way ANOVA and Multiple Comparison in Public Health Research: A Case Study of Hemorrhagic Fever Protection

จารุวรรณ วิโรจน์¹

Jaruwan Viroj¹

Received: 3 August 2014 ; Accepted: 12 November 2014

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เป็นสถิติอนุมานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรตามหนึ่งตัวและตัวแปรต้นหนึ่งตัว โดยตัวแปรตามที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องมีลักษณะข้อมูลเป็นข้อมูลต่อเนื่อง ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ซึ่งมีข้อตกลงจำนวน 3 ข้อ ได้แก่ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องอิสระต่อกัน ค่าความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน และข้อมูลที่น่าวิเคราะห์ต้องมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ หากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน การที่จะหาคำตอบว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดแตกต่างกันบ้าง จำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบที่เรียกว่าการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยสถิติแต่ละตัวมีความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดในการทดสอบได้แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงควรเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมเพื่อจะสามารถนำไปสู่การสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกต้องต่อไป

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว การเปรียบเทียบพหุคูณ พฤติกรรมสุขภาพ

Abstract

One-way ANOVA is an inferential statistic for analyzing the mean difference between more than two groups. It is conducted with one dependent variable and one independent variable. The dependent variable is a continuous response variable. This statistic can control Type I errors. Three assumptions are made in ANOVA models: observations independent of one another, homogeneity of variance and normality. In those cases having a difference between the means, an additional exploration of the difference among means multiple comparisons test, is needed. There are several procedures for multiple comparisons, each having different control errors. As such, the researcher must choose an appropriate statistic that leads to a precise conclusion.

Keywords: One-way ANOVA, Multiple comparison, Health behavior

บทนำ

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมสาธารณสุขเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งที่จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาสาธารณสุขที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ บ่อยครั้งที่นักวิจัยอาจได้พยายามคิดค้นและนำวิธีการที่หลากหลายมาใช้ในการแก้ไขพฤติกรรมสุขภาพ การหาคำตอบว่าวิธีการใดจะสามารถนำมาให้แล้วได้ประสิทธิผลมากที่สุดได้นั้น One-way ANOVA นับได้ว่าเป็นสถิติที่สามารถ

ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ และสามารถนำประยุกต์ใช้ในการพิสูจน์สมมติฐานความแตกต่างข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูลตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปบทความฉบับนี้ผู้เขียนได้การนำเสนอหลักการออกแบบงานวิจัย แนวคิด หลักการ รวมถึงหลักการพิจารณาการเลือกการวิเคราะห์ด้วย One-way ANOVA และการเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งสามารถช่วยให้นักวิจัยสามารถตอบคำถามและสรุปผลการศึกษาได้อย่างถูกต้อง

¹ อาจารย์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เบอร์โทรศัพท์ 043 - 754353

¹ Lecture, Public Health Faculty, Mahasarakham University, Telephone number 043 - 754353

การออกแบบการวิจัยเพื่อการวิเคราะห์ด้วย One-way ANOVA

ด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสังคมในปัจจุบัน ส่งผลพฤติกรรมสุขภาพของคนเปลี่ยนไปจากอดีต และส่งผลให้ปัญหาด้านสุขภาพมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาโรคไข้เลือดออก แม้ว่าในปัจจุบันหน่วยต่างๆ ได้ให้แนวทางในการจัดการปัญหาดังกล่าว แต่ก็ยังพบว่าอุบัติการณ์เกิดโรค และมีผู้เสียชีวิตสูงขึ้นในทุกๆ ปี ในปี 2556 พบผู้ป่วยด้วยโรคไข้เลือดออกมากกว่าปี 2555 ถึง 2.4 เท่า¹ แต่โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่สามารถป้องกันได้ หากประชาชนมีพฤติกรรมสุขภาพในการจัดการสภาพแวดล้อม และการป้องกันตนเองที่เหมาะสม² การนำกระบวนการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกนับว่าเป็นแนวทางที่สำคัญ ที่จะช่วยให้สามารถหาคำตอบถึงประสิทธิภาพในการดำเนินการแก้ไขปัญหาได้อย่างน่าเชื่อถือ และสามารถนำผลการศึกษาไปใช้ในการแก้ปัญหาจริงในพื้นที่ การวิจัยแบบกึ่งทดลอง(Quasi Experiment) เป็นรูปแบบการวิจัยที่มีการนำมาใช้ในงานวิจัยที่มีการ

ทดลองที่มีหน่วยการทดลองเป็นประชาชนในชุมชน เนื่องจากนักวิจัยไม่สามารถควบคุมปัจจัยในการทดลองต่างๆ ได้ทุกปัจจัย³ เช่น การจำกัดขอบเขตการรับข่าวสารในชุมชน การจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ตัวอย่างเช่น นักวิจัยต้องการเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากโรคไข้เลือดออกในประชาชนที่ได้รับความรู้ของเจ้าหน้าที่สาธารณสุข และประชาชนที่ได้รับความรู้จากกระบวนการมีส่วนร่วมในการป้องกันโรคไข้เลือดออก นักวิจัยอาจทำการออกแบบให้มีกลุ่มวิจัยจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (control group) กลุ่มที่ได้รับความรู้จากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข (group 1) กลุ่มที่ได้รับความรู้โดยการสร้างการมีส่วนร่วม (group 2) ในการวิจัย นักวิจัยควรออกแบบให้มีกลุ่มควบคุมทั้งนี้เพื่อให้สามารถยืนยันผลการวิจัยได้ชัดเจนถึงพฤติกรรมของประชาชนว่าการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการทดลองหรือไม่ หากนักวิจัยออกแบบการวิจัยโดยเก็บข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง (กรณีตัวอย่าง) ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลที่นักวิจัยทำการศึกษาได้ผลดัง Table 1

Table 1 Protective performance scores of Hemorrhagic fever

Group	Protective performance scores										mean (SD)
control group	18	15	14	16	15	13	12	13	16	17	14.9 (1.9)
group 1	19	17	17	15	16	18	19	17	18	17	17.3 (1.3)
group 2	19	20	18	18	15	17	18	17	18	16	17.6 (1.4)

จาก Table 1 แม้ว่านักวิจัยจะสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มออกมาได้ แต่การที่จะหาคำตอบว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีความแตกต่างจริงในประชากรหรือไม่ จำเป็นต้องที่ต้องมีการคำนวณค่าตามวิธีทางสถิติมาอธิบายคำตอบนั้น จากข้อมูลดังกล่าวมีตัวแปรตามจำนวน 1 ตัวแปร คือ ตัวแปรคะแนนพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากโรคไข้เลือดออก ซึ่งมีการวัดเป็นแบบข้อมูลเป็นข้อมูลต่อเนื่อง และมีตัวแปรต้นจำนวน 1 ตัวแปร คือตัวแปรรูปแบบการให้ความรู้ มีลักษณะการวัดเป็นแบบข้อมูลแจกแจง (discrete variable) ในการเปรียบเทียบข้อมูลจำนวน 3 กลุ่ม หากนักวิจัยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่โดยใช้ two sample t-test นักวิจัยทำการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลรายคู่ของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม โดยต้องทำการทดสอบ 3 ครั้ง คือ ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 1, ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 2 และ ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 1 = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 2 ซึ่ง

วิธีการวิเคราะห์รายคู่นี้จะทำให้เกิดผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I error) เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ความผิดพลาดที่เกิดจากการตัดสินใจในการไม่ยอมรับสมมติฐานหลักที่เป็นจริงเพิ่มขึ้น^{4, 5} ดังนั้นการเลือกใช้สถิติ One-way ANOVA นับได้ว่าเป็นสถิติที่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือกว่าการทดสอบรายคู่เนื่องจากในการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย ANOVA จะทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง ไปทดสอบด้วยสถิติ F ซึ่งคิดค้นมาจาก Sir Ronald Aylmer Fisher^{6, 7} โดยมีแนวคิดว่าหากข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ค่าความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มจะเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าในแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากันดังนั้นค่าความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มจะมากกว่าศูนย์ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดสอบสมมติฐานได้ โดยความแปรปรวนของข้อมูลเกิดจากผลรวมของค่าความ

แปรปรวนระหว่างกลุ่ม (between –group portion of the variance) และค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม (within-group portion of the variance)⁸ ดังสมการ

$$SS_{total} = SS_{betw} + SS_{with}$$

ซึ่งสามารถเขียนสมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 1 = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 2

H_A : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย

One-way ANOVA

ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย One-way ANOVA ประกอบด้วยข้อตกลงจำนวน 3 ข้อ ได้แก่

1. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องอิสระต่อกัน (Independent) ซึ่งนักวิจัยสามารถทดสอบข้อตกลงดังกล่าวได้จากการนำค่า residuals มาพล็อตเป็น Scatter plot จำแนกต่างกลุ่มข้อมูล ซึ่งหากพบว่าข้อมูลไม่อิสระต่อกันจะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ (Standard errors) โดยทำให้ค่าของ Type I error และ Type II error มีค่าเพิ่มขึ้น และจะนำไปสู่ความผิดพลาดในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน⁹

2. ค่าความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน (Homogeneity of Variance) ซึ่งสามารถทำการทดสอบได้จากการนำค่า residuals มาพล็อตด้วยแกน X หรือทำการทดสอบด้วย Levene's test หากไม่ผ่านข้อตกลงดังกล่าวจะทำให้เกิดอคติภายในกลุ่มวิเคราะห์ และเพิ่ม Type I error และ Type II error⁹ และความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานจะเพิ่มมากขึ้นถ้าหากข้อมูลที่นำมาทดสอบแต่ละกลุ่มมีจำนวนตัวอย่างไม่เท่ากัน แต่ถ้าหากขนาดตัวอย่างมากขึ้นอคติดังกล่าวจะเกิดลดลง⁹

3. ข้อมูลที่นำวิเคราะห์ต้องมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normality) ซึ่งสามารถทดสอบได้หลายวิธี เช่น การนำข้อมูลของตัวแปรตามแต่ละกลุ่มมาพล็อตด้วยกราฟฮิสโตแกรม แผนภูมิต้นและใบ นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาจากค่าทางสถิติได้ เช่น พิจารณาจากค่า Skewness และ Kutosis หรืออาจทำการทดสอบด้วยสถิติ Komogorov-Sminov และ Shapiro-Wilk หากพบว่าข้อมูลไม่แจกแจงปกติ จะมีผลทำให้การทดสอบเกิดคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะลดลงหากข้อมูลที่นำมาทดสอบในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากัน หรือมีจำนวนข้อมูลมาก⁹

ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย One-way ANOVA ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น 3 ข้อดังกล่าว หากข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลง ผู้วิจัยอาจเปลี่ยนมาใช้สถิติประเภทนอนพาราเมตริกซ์แทน โดยสถิติดังกล่าวคือการวิเคราะห์ด้วย Kruskal-Wallis test¹⁰

ประเภทการเปรียบเทียบพหุคูณ

เมื่อนักวิจัยทำการทดสอบด้วย One-way ANOVA และพบว่าผลการวิเคราะห์มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ การที่จะอธิบายต่อไปว่าข้อมูลชุดใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบที่เรียกว่า การเปรียบเทียบพหุคูณ โดยสถิติในกลุ่มที่ใช้การเปรียบเทียบพหุคูณเป็นสถิติที่สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทต่อหนึ่งกลุ่มการทดสอบ (family-wise) ซึ่งทำให้เกิดการเกิดอัตราความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1¹¹ โดยการเปรียบเทียบพหุคูณแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเปรียบเทียบข้อมูลที่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า (Planned comparisons) และการเปรียบเทียบข้อมูลภายหลัง (Post Hoc comparisons)

การเปรียบเทียบข้อมูลที่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า คือ การเปรียบเทียบที่นักวิจัยได้กำหนดไว้ล่วงหน้าว่าจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่สนใจ โดยทั่วไปจะใช้ก่อนดำเนินการศึกษา และสามารถวิเคราะห์ในกรณีที่มีขนาดตัวอย่างเพียงเล็กน้อยได้¹² โดยนักวิจัยจะเป็นผู้กำหนดว่าต้องการทดสอบความแตกต่างของกลุ่มตัวแปรใดบ้าง เช่น นักวิจัยต้องการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวน 5 กลุ่ม นักวิจัยอาจทำการเปรียบเทียบเฉพาะกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 5 และ กลุ่มที่ 4 กับกลุ่มที่ 5 เป็นต้น เทคนิคที่นิยมใช้มี 3 ประเภท ได้แก่

การเปรียบเทียบแบบ Trend

ใช้สำหรับการวิเคราะห์กรณีที่ตัวแปรต้นมีมาตราวัดแบบ ข้อมูลช่วง (Interval scale) หรือ ข้อมูลอัตราส่วน (Ratio scale) ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ standard t test ในการวิเคราะห์จะพิจารณาตามรูปแบบของกราฟเส้นว่าตัวแปรต้นส่งผลทำให้เกิดกราฟเส้นอย่างไร^{6, 7, 9}

การเปรียบเทียบแบบ Planned orthogonal contrasts (POC)

โดยนักวิจัยจะกำหนดกลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบเอง โดยจะมีการกำหนดคู่การเปรียบเทียบไม่กี่คู่ ข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบต้องเป็นอิสระต่อกันและมีข้อมูลในแต่ละกลุ่มเท่ากัน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ standard t-test แต่วิธีการเปรียบเทียบนี้ไม่ได้มีการควบคุมความผิดพลาดต่อหนึ่งกลุ่มทดสอบ (family-wise)⁹

การเปรียบเทียบแบบ Dunnett

ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลในกลุ่มที่ทดลองกับกลุ่มควบคุม¹³ โดยทั่วไปใช้ทดสอบว่าสิ่งทดลองจะให้ผลดีกว่ากลุ่มควบคุมหรือไม่ ซึ่งทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ standard t test โดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการทดสอบดีกว่าวิธีของ Bonferroni⁹ โดยทั่วไปแล้วในการศึกษาจะมีการกำหนดให้จำนวนข้อมูลในกลุ่มควบคุมมากกว่ากลุ่มทดลองตามกฎของ the rule of thumb กำหนดว่ากลุ่มควบคุมควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ $n\sqrt{k-1}$ (n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลอง และ k คือ จำนวนกลุ่มทดลอง)¹⁴

การเปรียบเทียบข้อมูลภายหลัง (Post Hoc Comparison or Posteriori Comparison)

เป็นการเปรียบเทียบโดยการนำข้อมูลของทุกกลุ่มที่ศึกษามาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ทั้งนี้เพราะนักวิจัยไม่ทราบมาก่อนว่าค่าเฉลี่ยใดบ้างที่แตกต่างกัน เช่น มีจำนวนข้อมูลอยู่สามกลุ่ม ก็ทำการเปรียบเทียบทั้งสามกลุ่ม โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบภายหลังสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการทดสอบที่สำคัญอยู่ 8 วิธีการ ได้แก่ Fisher PLSD, Tukey HSD, Tukey-Kramer, Scheffe, Bonferroni, Duncan's Multiple Range, Student-Newman Keuls และ Game/Howell โดยแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดดังนี้

Fisher LSD

วิธีนี้คิดค้นโดย Fisher โดยได้ทำการทดสอบที่เรียกว่า least significant different (LSD) ซึ่งใช้อัตราส่วน ที่พหุคูณในการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ เพื่อกำหนดค่าความต่างน้อยที่สุด เป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเท่ากัน โดยคำนวณจาก Standard t test⁹ วิธีนี้เหมาะกับการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างและจำนวนกลุ่มที่นำมาเปรียบเทียบไม่มากนัก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมความผิดพลาดภายในกลุ่มได้ (familywise error)^{12, 14, 15}

Tukey HSD

วิธีนี้คิดค้นโดย Tukey โดยได้เสนอวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้อัตราส่วน q (Studentized range statistic) และการกระจายตัวของ q ซึ่งได้เรียกวิธีดังกล่าวว่า Honestly Significant Different โดยใช้สัญลักษณ์ HSD ใช้ในการเทียบค่าเฉลี่ยกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน ในการคำนวณใช้ Studentized range test วิธีนี้สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภท family-wise ได้ โดยค่า HSD ที่ได้เป็นค่าต่ำสุดของผลต่างของค่าเฉลี่ยที่ใช้เปรียบเทียบ หากผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ใดเท่ากับหรือมากกว่าค่า HSD แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างคู่หนึ่งแตกต่างกัน นอกจากนี้วิธีนี้สามารถควบคุมความผิดพลาด

ต่อหนึ่งการทดลอง (Experimentwise Error Rate) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือกว่าวิธี Bonferroni และ Scheffe's⁹ วิธีนี้จะทำการเปรียบเทียบทีละคู่ ซึ่งจะเริ่มจากคู่ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด หากพบว่ามีค่าแตกต่างกัน จะทำการเปรียบเทียบต่อ แต่ถ้าหากพบว่าคู่ดังกล่าวไม่แตกต่างกันจะหยุดการวิเคราะห์

Tukey-Kramer

เป็นวิธีการเปรียบเทียบซึ่งมีหลักการเปรียบเทียบเหมือนวิธีของ Tukey HSD แต่ใช้เปรียบเทียบกรณีกลุ่มตัวอย่างแต่กลุ่มที่นำมาเปรียบเทียบมีจำนวนตัวอย่างไม่เท่ากัน⁹ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทุกกลุ่ม เนื่องจากให้ค่าความเชื่อมั่นในการทดสอบที่น่าเชื่อถือ^{16, 17}

Scheffe

วิธีนี้คิดค้นโดย Scheffe โดยได้เสนอวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณโดยใช้อัตราส่วน และการกระจายของตัวอย่าง F ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบพหุคูณแบบคู่ (pair wise) และสามารถใช้ได้ทั้งกรณีที่มีข้อมูลที่เปรียบเทียบมีกลุ่มตัวอย่างเท่าหรือไม่เท่ากันได้ วิธีนี้สามารถใช้ในการเปรียบเทียบ และสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภท family-wise ได้ดี¹⁵ และสามารถควบคุมให้อัตราความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 ของการทดสอบทั้งชุดทดลองเท่ากับ ในการวิเคราะห์ใช้ Standard t test⁹ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Scheffe จะมีความแม่นยำมากกว่าวิธีของ Tukey-Kramer¹⁴

Bonferroni

วิธีนี้คิดค้นโดย Dunn ซึ่งสร้างสูตรการคำนวณที่เรียกว่า Bonferroni สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน หรือ ไม่เท่ากัน คำนวณโดยใช้ standard t - test⁹ โดยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทีละคู่ และในการวิเคราะห์สามารถควบคุมค่าในการทดสอบได้^{14, 18} วิธีนี้เหมาะสมในการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีจำนวนกลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบไม่เกิน 5 กลุ่ม นอกจากนี้หากมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ในแต่ละกลุ่มมาก จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความเชื่อมั่นน่าเชื่อถือ¹⁰

Duncan's Multiple Range

วิธีนี้คิดค้นโดย Duncan โดยการใช้อัตราส่วน q และการกระจายของอัตราส่วนดังกล่าว ประกอบกับคำนวณค่าสถิติ ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเท่ากัน วิธีนี้เหมาะสมจำนวนกลุ่มที่นำมาเปรียบเทียบไม่มากนักเนื่องจากไม่สามารถควบคุมความผิดพลาดชนิดที่ 1 ได้^{12, 15}

Student-Newman Keuls (SNK)

ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเท่ากัน ในการเปรียบเทียบจะมีการนำค่า r (ช่วงห่างของค่าเฉลี่ยมาพิจารณาเปรียบเทียบด้วย) โดยการเปรียบเทียบตั้งแต่คู่ที่ต่างกันจากมากที่สุดก่อนไปเรื่อยๆ⁴ และสามารถป้องกันความผิดพลาดประเภทที่ 2 ได้ดี¹⁹ แต่ไม่สามารถควบคุมความผิดพลาดต่อหนึ่งการทดสอบ (Comparisonwise error rate) หรือ ความผิดพลาดต่อหนึ่งการทดลอง (Experimentwise error rate)^{12, 14}

Games-Howell

ใช้วิเคราะห์กรณีที่มีค่าความแปรปรวนแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Studentized range test ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีขนาดตัวอย่างตั้ง 50 ตัวอย่างขึ้นไป⁹

แนวทางการเลือกวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ

ผู้เขียนได้เสนอแนะแนวทางในการเลือกวิธีการเปรียบเทียบโดยสามารถพิจารณาการเลือกใช้สถิติในการเปรียบเทียบพหุได้ตาม Figure 1

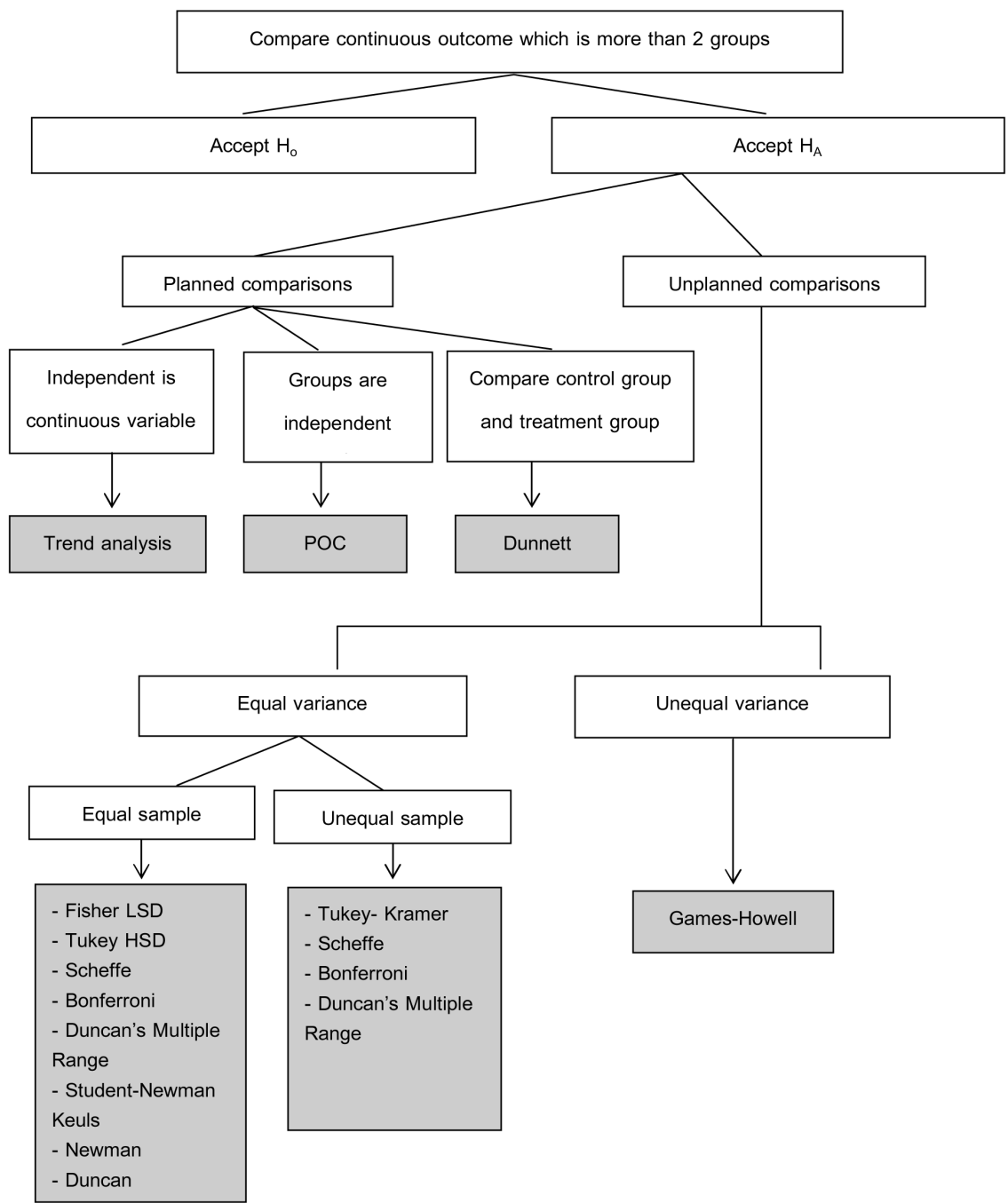


Figure 1 The procedure choosing multiple comparison which apply from Richard G.Lomax and Debbie L Hahs – Vaughn⁹

จากข้อมูลใน Table 1 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ ข้อตกลงเบื้องต้นพบว่า ข้อมูลดังกล่าวอิสระต่อกัน มีความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน และตัวแปรตาม

แจกแจงแบบปกติ และนักวิจัยทำการทดสอบความแปรปรวน แล้วพบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งแสดงว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 กลุ่ม แตกต่างกัน ดัง Table 2

Table 2 Compare protective performance scores of Hemorrhagic fever

Factor	Control Mean (SD)	Group 1 Mean (SD)	Group 2 Mean (SD)	F-test	P-value
Performance scores	14.9 (0.6)	17.3 (0.4)	17.6 (0.5)	9.04	0.001

ดังนั้นหากนักวิจัยต้องการทราบต่อไปว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน นักวิจัยต้องทำการวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยนักวิจัยสามารถพิจารณาเลือกวิธีเปรียบเทียบพหุคูณโดยพิจารณาจาก Figure 1 ประกอบได้ดังนี้

1. งานวิจัยนี้นักวิจัยไม่ทราบมาก่อนว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจัดเป็นการเปรียบเทียบพหุคูณประเภทที่ไม่ได้มีการวางแผนการทดสอบ

2. พิจารณาต่อไปว่าความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่

2.1) หากความแปรปรวนแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน ให้เลือกใช้วิธี Games-Howell

2.2) หากความแปรปรวนแต่ละกลุ่มเท่ากัน ให้พิจารณาต่อขั้นตอนที่ 3

3. ข้อมูลในแต่ละกลุ่มมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากันหรือไม่ จาก Table 1 พบว่าข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มมีจำนวนตัวอย่างเท่ากัน เนื่องจากแต่ละกลุ่มมีจำนวนตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้อาจเลือกใช้วิธี Fisher LSD, Tukey HSD, Scheffe, Bonferroni, Duncan's Multiple Range หรือ Student-Newman Keuls จากการวิเคราะห์ให้ผลการวิเคราะห์พหุคูณดัง Table 3

Table 3 Compare the result of multiple comparison (n = 30)

Post Hoc Comparison	p_value (95% CI)			Power full
	Control & group 1	Control & group 2	group 1 & group 2	
Fisher LSD	0.002 (-0.972 : -3.828)	0.001 (-1.272 : -4.128)	0.670 (-1.728 : 1.128)	★★★★★
Tukey HSD	0.005 (-0.674 : -4.126)	0.002 (-0.974 : -4.426)	0.903 (1.426 : -2.026)	★★
Scheffe	0.007 (-0.597 : -4.203)	0.003 (-0.897 : -4.503)	0.912 (1.503 : -2.103)	★
Bonferroni	0.006 (-0.623 : -4.177)	0.002 (-0.923 : -4.477)	1.000 (1.477 : -2.077)	★★
Duncan's Multiple Range	0.002 (-3.828 : -0.972)	0.001 (-1.200 : -4.200)	0.670 (1.128 : -1.728)	★★★★★
Student-Newman Keuls	0.002 (-0.971 : -3.829)	0.002 (-0.973 : -4.427)	0.670 (-1.729 : 1.129)	★★★

หมายเหตุ ★ หมายถึงความสามารถในปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยพิจารณาการให้ ★ จากความกว้างของช่วงเชื่อมั่น 95%

จากผลการเปรียบเทียบพหุคูณของข้อมูลจำนวน 30 ข้อมูล โดยใช้สถิติจำนวน 6 ตัวในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่ม พบว่าวิธีดังกล่าวข้างต้นให้ผลการวิเคราะห์ที่ให้น่าจะเป็นแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ก็ยังนำไปสู่การสรุปการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน คือ พบว่าคะแนนพฤติกรรมกลุ่มควบคุมและการได้รับความรู้จากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข และการได้รับความรู้จากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข และ คะแนนพฤติกรรมกลุ่มควบคุมและการได้รับความรู้โดยการสร้างการมีส่วนร่วม มีคะแนนพฤติกรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของคะแนนพฤติกรรมกลุ่มที่ได้รับความรู้จากเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและการได้รับความรู้โดยการสร้างการมีส่วนร่วม จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าวิธีของ Fisher LSD และ Duncan's Multiple Range ให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยที่สุด และมีช่วงค่าความเชื่อมั่นแคบที่สุด ซึ่งจะมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบสมมติฐานน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ช่วยให้นักวิจัยสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่าง(null hypothesis) ได้อย่างมั่นใจมากขึ้น หากลำดับความสามารถในการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะพบว่าวิธีของ (Fisher LSD = Duncan's Multiple Range) > Student-Newman Keuls > (Tukey HSD = Bonferroni) > Scheffe แต่การที่นักวิจัยจะเลือกสถิติตัวใดมาเปรียบเทียบพหุคูณ อาจพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของนักวิจัยที่ต้องการป้องกันโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการทดสอบมากที่สุดเพียงใด แต่ทั้งนี้ความถูกต้องของผลการวิจัยไม่ได้มาจากสถิติเพียงอย่างเดียว นักวิจัยต้องคำนึงถึงรูปแบบของการออกแบบงานวิจัยดังกล่าวร่วมด้วย

สรุป

One-way ANOVA เป็นสถิติอนุมานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยตัวแปรตามที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องมีลักษณะข้อมูลเป็นข้อมูลต่อเนื่อง หากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และในการทดสอบนักวิจัยต้องการทราบค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างมีความแตกต่างกัน นักวิจัยควรใช้วิธีวิเคราะห์พหุคูณเนื่องจากสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทต่อหนึ่งกลุ่มการทดสอบ ซึ่งทำให้ลดการเกิดอัตราความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 ซึ่งนำไปสู่ความถูกต้องของการสรุปผลการทดสอบ วิธีการเปรียบเทียบพหุคูณด้วย Fisher LSD และ Duncan's Multiple Range ให้ประสิทธิภาพในการปฏิเสธสมมติฐานว่างได้มีประสิทธิภาพได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งนี้ข้อมูลต้องอิสระต่อกัน มีค่าความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน และตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปกติ

บรรณานุกรม

1. สำนักโรคติดต่อฯ โดยแมลง กรมควบคุมโรค. สถานการณ์โรคไข้เลือดออก. 12 พฤศจิกายน 2556; 2556 [cited 20 ตุลาคม 2557]; Available from: http://www.m-society.go.th/article_attach/11021/15445.pdf.
2. Bhopal RS. Concepts of Epidemiology: An integrated introduction to the ideas, theories, principles and methods of epidemiology. New York: Oxford University Press 2002.
3. Bernard HR. Social research method : qualitative and quantitative approaches Los Angeles: SAGE Publications; 2013.
4. Jerrold H. Zar. Biostatistical analysis. 4, editor. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.
5. David G. Kleinbaum LLK, Keith E. Muller. Applied regression analysis and other multivariable methods / 2, editor. Boston: PWS-Kent Publishing Company; 1988.
6. Glenn Gamst LSMaAJG. Analysis of Variance Design. United States of America: Cambridge University; 2008.
7. David J. Weiss. Analysis of variance and functional measurement : a practical guide New York: Oxford University; 2006.
8. Weiss DJ. Analysis of variance and functional measurement : a practical guide New York: Oxford University Press; 2006.
9. Richard G.Lomax and Debbie L Hahs - Vaughm. Statistical Concept A Second Course. 4 ed. United States of America: Taylo & Francis Group; 2012.
10. Douglas G. Altman. Practical statistics for medical research. London: Chapman and Hall; 1991.
11. Jason C. Hsu. Multiple comparisons : theory and methods /. London: Chapman & Hall; 1996.
12. Gerry P. Quinn and Micheal J. Keough. Experimental Design and Data Analysis for Biologists. New York: Cambridge University; 2002.
13. Jason C. Hsu. Multiple Comparision Theory and methods. London: Chaoman & Hall; 1996.
14. John A. Rafter MLAAJPB. Multiple Comparison Methods for Means. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2002;44(2):259 - 78.

15. Guven Ozkaya and Ilker Ercan. Examining Multiple Comparison Procedures According to Error Rate, Power Type and False Discovery Rate. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. 2012;11(2): 348-60.
16. Michael R. Stoline. The Status of Multiple Comparisons: Simultaneous Estimation of All Pairwise Comparisons in One-Way ANOVA Designs. *The American Statistician*. 1981;3(35):134-41.
17. R. W. Day and G. P. Quinn. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology. *Ecological monographs*. 1989;59(4):433-63.
18. Barbara G. Tabachnick and Linda S. Fidell. *Experimental designs using ANOVA*. Australia: Thomson Brooks; 2007.
19. R. A. Armstrong SVSaFE. An introduction to analysis of variance (ANOVA) with special reference to data from clinical experiments in optometry. *Ophthal Physiol Opt*. 2000;12:235-41.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาผลงานในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่างระหว่างบรรทัดในภาษาที่ใช้ double space ภาษาอังกฤษล้วนให้เป็น single space

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้ส่งงานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 20 หน้า

7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรใช้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่มาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ชัดช้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

1. การอ้างอิงหนังสือ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. p 22-5. (ชื่อชุด; vol 288).

ตัวอย่าง: Getqen,TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; voll 288).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppel AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998;55:697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Procedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

รูปแบบ: ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. The Washington Post 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc/gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc/gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

3. Browallia font type is required with font size as follows:

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important finding in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. List the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakhom University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.

The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิการสาธาณศาสตราและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณัดหรือตัวแลกเงิน ส่งจ่าย ปณ.ทำขนอยาง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครคคะเศรษฐง กองส่งเสรมการวิจัยและบรการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 00033



Membership Application Form

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

One-Year membership (400 Baht)

Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 00033